

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1968

N°

THÈSE

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

Philippe HECQUET

Né le 9 Décembre 1939, à NANTES (Loire-Maritime)

EXTERNE DU C. H. U. DE REIMS

Présentée et soutenue publiquement le

POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE
ET SANTÉ DE L'HOMME

Président : Monsieur le Professeur BLANCHER

IMPRIMERIE COULON, 17, Rue Camille-Lenoir - REIMS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1968

N° _____

THÈSE

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

Philippe HECQUET

Né le 9 Décembre 1939, à NANTES (Loire-Maritime)

EXTERNE DU C. H. U. DE REIMS

Présentée et soutenue publiquement le

POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE
ET SANTÉ DE L'HOMME

Président : Monsieur le Professeur BLANCHER



15-1-1967

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Alajouine (T.), Bénard (H.), Bernard (E.), Binet (L.), Builiard (H.), Cathala (J.), Chabrol (E.), Chailley-Bert (P.), Cheymol (J.), Debré (R.), Fey (B.), Galliard (H.), Gaudart d'Allaines (F. de), Gennes (L. de), Giroud (A.), Hazard (R.), Heuyer (G.), Laroche (G.), Lavier (G.), Lelong (M.), Lévy (Mlle J.), Lévy-Solal (E.), Lian (C.), Marchal (G.), Mathieu (P.), Monod (R.), Moreau (R.), Moulonguet (P.), Pasteur Vallery-Radot, Petit-Dutaillis (D.), Piédelièvre (R.), Quénu (J.), Renard (G.), Senèque (J.), Strohl (A.), Tanon (L.), Verne (J.).

DOYEN Georges BROUET
1^{er} ASSESSEUR Daniel BARGETON
2^{me} ASSESSEUR Jean GOSSET

I. -- PROFESSEURS

1° CHAIRES DE SCIENCES FONDAMENTALES

a) Professeurs titulaires :

MM.

DELMAS (A.)
HUARD (P.)
DELARUE (J.)
VOURCH (G.)
TOURNIER (P.)
JAYLE (M.-F.)
POLONOVSKI (J.)
DESGREZ (P.)
MALMEJAC (J.)
FAUVERT (R.)
BUGNARD (L.)
DOGNON (A.)
DJOURNO (A.)
MATHE (G.)
SCHAPIRA (G.)
LEJEUNE (J.)
COURY (Ch.)
TUCHMANN-DUPLESSIS (H.)
COUJARD (R.)
BOYER (J.)
DESOILLE (H.)
DEROBERT (L.)
FASQUELLE (R.)
N...
LAURENCE (G.)
KUSS (R.)
VERNE (J.-M.)
BRUMPT (L.-C.)
MERKLEN (F.-P.)
LAROCHÉ (Cl.)
BRICAIRE (H.)
PEQUIGNOT (H.)
TURIAF (J.)
MAURICE (P.)
BOISSIER (J.-R.)
LECHAT (P.)
BARGETON (D.)
PARROT (D.)
LEPAGE (F.)
DESGREZ (H.)

Anatomie
Anatomie et cytologie pathologiques
Anesthésiologie
Bactériologie et virologie
Biochimie médicale
Biochimie médicale
Biochimie médicale
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports
Biologie médicale
Biophysique médicale
Biophysique médicale
Biophysique médicale
Cancérologie expérimentée
Chimie pathologique
Génétique fondamentale
Histoire de la médecine et de la chirurgie
Histologie et Embryologie
Histologie et Embryologie
Hygiène et médecine préventive
Médecine du Travail
Médecine légale, Droit médical et déontologie
Microbiologie (Bactériologie et virologie)
Parasitologie
Pathologie chirurgicale
Pathologie chirurgicale
Pathologie chirurgicale
Pathologie exotique
Pathologie expérimentale et comparée
Pathologie médicale
Pathologie médicale
Pathologie médicale
Pathologie respiratoire
Pathologie et thérapeutique générales
Pharmacologie
Pharmacologie
Physiologie
Physiologie et pathologie obstétricales
Physiologie
Radiologie médicale

Technique chirurgicale et Chirurgie expérimentale
Thérapeutique
Thérapeutique appliquée

b) Professeurs à titre personnel :

Anatomie
Anatomie anthropologique
Anatomie pathologique
Bactériologie
Biochimie médicale
Biochimie médicale
Parasitologie
Pathologie expérimentale
Physiologie
Physique médicale
Radiologie médicale

MM.
N...
LAMOTTE (M.)
N...

MM.
CABROL (Ch.)
OLIVIER (G.)
NEZELOF (Ch.)
BARBIER (P.)
DREYFUS (J.-Cl.)
BOURLIERE (M.)
LARIVIERE (M.)
LOEPER (J.)
DEJOURS (P.)
SCHERRER (J.)
KELLERSHOHN (L.)
GOUGEROT (L.)
ROUCAYROL (J.-Cl.)
TUBIANA (M.)
FISCHGOLD (H.)

2° CHAIRES DE SCIENCES CLINIQUES

a) Professeurs titulaires :

Clinique carcinologique
Clinique carcinologique chirurgicale (Necker)
Clinique cardiologique (Broussais)
Clinique cardiologique (Boucicaut)
Cliniques chirurgicales
Beaujon
Beaujon
Cochin
Hôtel-Dieu
Saint-Antoine
Salpêtrière
Tenon
Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique (Cochin)
Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique (Foch)
Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique (Beaujon)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants-Malades)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)
Clinique de chirurgie thoracique (Laennec)
Clinique dermatologique (Saint-Louis)
Clinique endocrinologique (Pitié)
Clinique de Génétique médicale (Enfants-Malades)
Clinique chirurgicale et gynécologique (Broca)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (Saint-Louis)
Clinique des maladies des enfants (Enfants-Malades)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Sainte-Anne)
Clinique des maladies du sang (Broussais)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)
Bicêtre
Broussais
Cochin
Hôtel-Dieu
Pitié
Saint-Antoine
Saint-Antoine
Saint-Antoine
Cliniques médicales

MM.
DENOIX P.
REDON (H.)
SOULIE (P.)
LENEGRE (J.)
LORTAT-JACOB (J.-L.)
BAUMANN (J.)
LEGER (L.)
PATEL (J.)
GOSSET (J.)
SICARD (A.)
OLIVIER (Cl.)
MERLE D'AUBIGNE (R.)
PADOVANI (P.)
CAUCHOIX (J.)
FEVRE (M.)
DUBOST (Ch.)
MATHEY (J.)
DUPERRAT (F.)
DECOURT (J.)
LAMY (M.)
HUGUIER (J.)
DEGOS (R.)
TURPIN (R.)
MOLLARET (P.)
DELAY (J.)
BERNARD (J.)
CASTAIGNE (P.)
DEPARIS (M.)
MILLIEZ (P.)
N...
BARIETY (M.)
DREYFUS (G.)
CONTE (M.)
KOURILSKY (R.)
BOUDIN (G.)

Clinique d'hydrologie et de climatologie (Bichat)	
Clinique médicale infantile et pédiatrie sociale (Enfants Malades)	
Clinique médicale propédeutique (Broussais)	
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies métaboliques (Hôtel-Dieu)	
Clinique néphrologique (Necker)	
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)	
Clinique neurologique (Salpêtrière)	
Cliniques obstétricales	Baudelocque
	Saint-Antoine
Clinique obstétricale et gynécologique (Port-Royal)	
	Hôtel-Dieu
Clinique ophtalmologique	Cochin
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)	
Clinique de pédiatrie (Trousseau)	
Clinique de pédiatrie et de puériculture (Saint-Vincent-de-Paul)	
Clinique de pneumo-phthisiologie (Laennec)	
Clinique de neuro-psychiatrie infantile (Salpêtrière)	
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)	
Clinique de rhumatologie (Lariboisière)	
Clinique stomatologique (Salpêtrière)	
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)	
Clinique thérapeutique médicale (Saint-Antoine)	
Clinique toxicologique (F. Vidal)	
Clinique traumatologique et orthopédique (R.-Poincaré)	
Clinique urologique (Cochin)	
Clinique urologique (Necker)	
Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)	
Sémiologie médicale (A. Chantin)	
Sémiologie médicale (Lariboisière)	
Sémiologie médicale (Pitié)	
Sémiologie médicale (Rothschild)	
Sémiologie et clinique chirurgicales (Broussais)	

b) Professeurs à titre personnel :

Hématologie	
Hydrologie et climatologie	
Maladies infectieuses	
Médecine	
Néphrologie	
Neuro-chirurgie	
Neurologie	
Neuro-psychiatrie	
Oto-Rhino-Laryngologie	
Pédiatrie	
Pneumo-Phtisiologie	
Rhumatologie	

MM.
DEBRAY (Ch.)
MARIE (J.)
JUSTIN-BESANÇON (L.)
DEROT (M.)
HAMBURGER (J.)
DAVID (M.)
GARCIN (R.)
LACOMME (M.)
MERGER (R.)
VARANGOT (J.)
OFFRET (G.)
BREGEAT (P.)
AUBRY (M.)
MOZZICONACCI (P.)
THIEFFRY (S.)
BROUET (G.)
MICHAUX (L.)
COSTE (F.)
SEZE (S. de)
DECHAUME (M.)
ROUX (M.)
LEMAIRE (A.)
GAULTIER (M.)
JUDET (R.)
ABULKER (P.)
COUVELAIRE (R.)
LAPLANE (R.)
DOMART (A.)
BOUVRAIN (Y.)
RAMBERT (P.)
WOLFROMM (R.)
POILLEUX (F.)

ANDRÉ (R.)
BOUSSER (J.)
GIBERTON (A.)
BASTIN (R.)
AZERAD (E.)
BOUR (H.)
CAROLI (J.)
DREYFUS (B.)
GROSSIORD (A.)
LAMBLING (A.)
LAUNAY (Cl.)
PAYET (M.)
PERRAULT (M.)
SIGUIER (F.)
WORMS (R.)
RICHET (G.)
LE BEAU (J.)
LHERMITTE (F.)
PICHOT (P.)
MADURO (R.)
OLONOVSKI (Cl.)
ROYER (P.)
KREIS (B.)
MEYER (A.)
DELBARRE (F.)

II. -- PROFESSEURS SANS CHAIRE

MM.		MM.	
Anatomie pathologique	GOUYGOU (Ch.)	Maladies infectieuses	DUPONT (V.)
Bactériologie	CHRISTOL (D.)	Neuro-psychiatrie	TARDIEU (G.)
Biochimie médicale	{ CARTIER (P.) GONNARD (P.) NORDMANN (J.)	Pédiatrie	ROSSIER (A.)
Biologie médicale	HARTMANN (L.)	Physique médicale	{ COURSAGET (J.) GREMY (F.)
Chirurgie	CERBONNET (G.)	Physiologie	GIRARD (Fr.)
Hématologie	BILSKI-PASQUIER (O.)	Stomatologie	CHAPUT (Mme A.)

III. -- PROFESSEURS DETACHES DANS LES UNIVERSITES ETRANGERES

Bactériologie	HAUDUROY (P.) Pr. s. ch.
Pathologie chirurgicale	RUDLER (J.) Pr. s. ch.

IV. -- PROFESSEURS ASSOCIES

Hormonologie	MORICARD (R.)
Statistique médicale et épidémique	SCHWARTZ (D.)
Secrétaire général de la Faculté	M. LÈNA (J.)
Conseiller administratif	Mlle CHAINTREUIL (G.)
Conservateur en Chef de la Bibliothèque	{ M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateur du Musée d'Histoire de la Médecine	
Conservateurs	{ Mlles DUMAITRE (P.), LAURENT (H.), LE NOIR (G.)
Bibliothécaires	{ Mmes CONTET (J.), FORGET (F.), Mlles DUROZOY (M.-F.), ROBERGE (D.), Dr SCHILLER (J.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui ont été présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A Mes Parents,

A Mes Beaux-Parents,

A Ma Femme,

A Mes Amis,

A Monsieur le Professeur Gabriel BLANCHER

Professeur sans chaire à la Faculté de Médecine de Paris

Médecin des Hôpitaux

qui nous a fait le grand honneur de présider
notre jury de thèse.

A Monsieur le Professeur Louis VILDE

Doyen de la Faculté Mixte de Médecine et de Pharmacie de Reims

Professeur agrégé de Pathologie Médicale

Médecin des Hôpitaux de Reims

Chevalier de la légion d'Honneur

En témoignage de notre profond respect et de
notre vive gratitude pour son enseignement.

A Monsieur le Professeur G. PETIT MAIRE

Professeur d'Hygiène, de Médecine Préventive et de Médecine
du Travail à la Faculté de Médecine de Reims

Officier de la légion d'Honneur

Il nous a inspiré le sujet de ce travail et ses
conseils nous ont permis de le mener à bien.
Qu'il trouve ici l'expression de notre respec-
tueuse gratitude pour la bienveillance dont il
a toujours fait preuve à notre égard.

DÉFINITION DU PROBLÈME

RAPPEL HISTORIQUE

La pollution de l'air pose un problème depuis des siècles. Il y a longtemps que la présence dans l'atmosphère de fumées, de cendres, de gaz sulfureux et d'autres produits de simple combustion est considérée comme nuisible et reconnue coûteuse. A l'heure actuelle, la conviction est acquise que la pollution de l'air présente beaucoup plus que de légers inconvénients et qu'elle peut mettre en danger la santé humaine. Il est avéré que certains épisodes de pollution grave ont accru la létalité et des recherches entreprises séparément ont donné à penser qu'il peut exister un rapport entre l'exposition plus ou moins régulière à une atmosphère polluée et l'apparition de maladies telles que la bronchite aiguë et le cancer primitif du poumon.

Une distinction s'impose d'ailleurs entre la pollution de l'air dans un milieu professionnel (par exemple, dans une usine, les ouvriers, généralement des hommes sains, ne sont exposés que pendant leurs heures de travail) et la pollution du milieu ambiant à laquelle est soumis indéfiniment l'ensemble d'une population. Ce dernier cas soulève un problème qui intéresse directement les autorités responsables de la santé publique.

La lutte contre la pollution de l'air ne s'occupe plus uniquement des produits de simple oxydation des combustibles classiques. Les effluents industriels déversés dans l'atmosphère sont de plus en plus abondants, variés et complexes. Divers facteurs (le développement de l'industrialisation, la multiplication des moteurs à combustion interne et l'augmentation de densité des populations exposées aux polluants atmosphériques) accroissent rapidement la gravité de la situation et compliquent progressivement l'application de mesures efficaces.

L'homme a besoin pour vivre de respirer de l'oxygène dilué de gaz inertes. Il trouve dans l'atmosphère un mélange convenable d'oxygène et d'azote inhalé à raison de seize kilos par 24 heures, qui passent sur une surface pulmonaire de 100 m², richement irriguée et drainée par le sang. La voie pulmonaire est, en conséquence, une voie d'absorption extrêmement rapide et, suivant l'endroit de la surface du sol où nous vivons, nous respirons en outre, inévitablement, divers gaz, vapeurs et aérosols de composition et de concentration variables, dont les uns sont physiologiquement inertes et dont les autres provoquent des réactions allant de la gêne légère à l'intoxication grave.

Il est bien évident qu'aucune atmosphère réellement non polluée n'a jamais existé puisque la décomposition des matières végétales et des débris animaux, les incendies de forêts, etc, émettent des gaz et des particules solides depuis les origines du monde. Cependant, la pollution atmosphérique est devenue un problème d'intérêt général avec l'avènement de la technologie.

Le premier progrès technique de l'homme a été l'utilisation du feu qui produit du gaz carbonique, de la fumée et des cendres ; aussi dès les premiers temps de la civilisation, l'atmosphère de toutes les agglomérations humaines a-t-elle dû être fortement polluée. Les récits concernant les villes médiévales d'Europe rapportent que l'air y était vicié par la fumée des feux de bois, à laquelle s'ajoutaient les odeurs provenant des activités domestiques, les exhalations fétides de certaines opérations comme le tannage, et celle des ordures pourrissant dans les rues, par suite des conditions primitives d'hygiène. Néanmoins, les habitants des villes ne semblent pas s'être préoccupé outre mesure de la qualité de l'air qu'ils respiraient.

L'avènement du charbon comme moyen de chauffage marque le début du mécontentement populaire, noté par les historiens, et l'on peut fixer au début du XIV^e siècle la date à laquelle la pollution atmosphérique est devenue un problème social. Dès 1382, Charles VI avait pris un édit interdisant à Paris « les fumées malodorantes et nauséabondes ». Mais la naissance de la grande industrie, son développement aggravèrent considérablement ces données, et les pouvoirs publics sous le Premier Empire s'en préoccupèrent. Un décret du 15 Octobre 1810 stipulait : « A compter de la publication du présent décret, les manufactures et ateliers qui répandent une odeur insalubre ou incommode ne pourront être formés sans autorisation administrative ». N'étaient donc envisagés comme inconvénient que les odeurs, et comme source de désagrément que les établissements industriels. Les connaissances étaient réduites et la lutte contre les polluants ne faisait aucun progrès.

A partir de 1850 et en parcourant les cent années qui ont suivi les premières tentatives de l'homme pour comprendre la nature de la pollution atmosphérique, on découvre l'intervention de deux processus. D'une part, le développement des techniques a fait apparaître de nouvelles formes de pollution dans l'atmosphère, d'autre part, les populations urbaines sont devenues plus intolérantes aux types de pollution de l'air qu'elles doivent respirer.

1930 - L'évènement le plus dramatique de cette période est la catastrophe de la Vallée de la Meuse, où plus de 60 personnes périssent par suite de la pollution de l'air. Dans le monde entier, c'est le signal de recherches plus actives. Des ouvrages français font leur apparition dans les bibliographies et les dangers de la pollution atmosphérique sont l'objet de discussions à la Chambre des Députés. Les publications françaises de cette époque s'intéressent vivement à ce qui a été fait jusque là en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis ; en revanche elles ne mentionnent pratiquement pas d'auteurs français pour les années précédentes, ce qui montre qu'avant cette époque presque rien n'avait été fait en France dans ce domaine. Malheureusement la crise économique contrarie les recherches, et il est probable que l'accident de la Vallée de la Meuse aurait suscité un intérêt beaucoup plus grand si les conditions économiques avaient été plus favorables.

En 1943, Los Angeles subit pour la première fois un nouveau type de pollution qui a valu à la ville d'être connue dans le monde entier pour son brouillard chargé de fumée (Smog). Pourtant la ville n'utilise pas de charbon, mais consomme énormément d'essence. De nombreuses recherches montrèrent que les vapeurs d'hydrocarbures, combinés à d'autres agents présents dans l'air, étaient responsables du Smog. Cela fit reconsidérer le problème de la Pollution atmosphérique dans toutes les grandes villes du monde.

En 1945, sitôt la guerre finie, les recherches s'intensifient très rapidement comme l'indique le nombre des articles publiés et la variété des sujets étudiés, on assiste à un brusque déploiement d'activité. La catastrophe de Donora, survenue en 1948 et ayant entraîné 17 cas de décès, suscite une activité importante du Public Health Service des Etats-Unis et persuade un grand nombre de savants américains que - même s'il est impossible de prouver que des polluants comme le gaz sulfureux à faible concentration endommagent l'organisme humain - il est au moins avéré que, dans certaines circonstances, la pollution de l'air d'une ville s'accompagne d'une mortalité, suffisamment élevée pour inquiéter les responsables de la Santé Publique.

Londres, 1952, 4000 décès. L'opinion publique réclame une enquête au gouvernement et la prise de mesures pour éviter le

retour d'un tel accident. Les crédits accordés pour les études et les plans de défense des villes sont considérablement accrus et la conviction est acquise que, de nos jours, les polluants de l'air ne comprennent plus uniquement de la fumée, le gaz sulfureux, les cendres et les gaz chimiquement connus qui sont des effluents industriels, mais aussi certaines substances dont on n'avait jamais soupçonné l'existence jusqu'alors dans l'atmosphère normale d'une ville. Ces substances, décelées pour la première fois à Los Angelès existeraient à de faibles concentrations dans toutes les villes modernes ; un effort concerté pour découvrir quelles sont ces substances, caractérise, à l'heure actuelle, la recherche sur la pollution de l'air, car il sera difficile, sinon impossible, de les éliminer sans les avoir identifiées.

Il est impensable à l'heure actuelle qu'un pays dont l'économie n'est pas uniquement agricole puisse se désintéresser de la pollution de l'air. La pollution des villes à faible population et de faible développement industriel reste réduite, mais il n'y a aucune raison de penser que cette situation se maintiendra à l'avenir. La pollution devra, au contraire, être de plus en plus surveillée au fur et à mesure du développement industriel.

*
**

La pollution atmosphérique pose donc d'importants problèmes dont la solution nécessite l'action conjuguée des pouvoirs publics, des urbanistes, des ingénieurs et des médecins.

Nous ne saurions en étudier dans le détail tous les aspects. Nous laisserons volontairement de côté :

- La pollution particulière attachée à certains lieux de travail et qui relève de la pathologie professionnelle (pneumoconioses, silicoses, etc...) ;
- La pollution des habitations,
- Les aspects économiques et sociaux,
- Et enfin tout ce qui concerne la terminologie et les unités de mesure, les méthodes et appareils de mesure et de contrôle.

Ainsi, après avoir rappelé ce qu'est la pollution atmosphérique, nous n'envisagerons que ce qui touche la santé de l'homme et les remèdes à apporter.

PREMIÈRE PARTIE

SOURCES ET NATURE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

I — LES DIVERSES SOURCES DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

La source de loin la plus importante des agents de contamination atmosphériques dus aux activités humaines est représentée par la quantité sans cesse croissante des produits de combustion résultant du chauffage domestique et industriel, de la production d'énergie, des transports, etc... Par suite du fort développement de la production industrielle au cours des dix dernières années, notamment en Amérique du Nord et dans certains pays d'Europe, de nouveaux problèmes de pollution de l'air sont apparus et ceux qui se posaient déjà se sont intensifiés. En dehors des combustions, la libération dans l'atmosphère de déchets par les opérations de la sidérurgie, de la fusion et de l'affinage des métaux non ferreux, du raffinage du pétrole, des industries chimiques et pétrochimiques, de la fabrication de la pâte de bois et du papier, et de nombreuses autres industries de transformation, constitue une source importante d'agents de contamination.

Une statistique qui nous vient d'Angleterre met en parallèle d'une part la consommation de combustible de ce pays et d'autre part les quantités estimées des principales catégories d'agents de contamination libérés dans l'atmosphère par les combustions :

COMBUSTIBLES	Consomma- tion de com- bustibles	POLLUANTS	Emission de POLLUANTS en millions de tonnes
<i>Combustibles solides (en millions de tonnes)</i>			
— CHARBON	205	Fumées	2

COMBUSTIBLES	Consomma- tion de com- bustibles	POLLUANTS	Emission de POLLUANTS en millions de tonnes
— COKE (à l'exception du coke de pétrole)	27	Poussières et cen- dres industrielles	0,8
— Combustibles manufacturés	1		
— BOIS	0.5	Oxydes de soufre exprimés en SO ₂	5,3
COMBUSTIBLES LIQUIDES (en millions de m ³)		Vapeurs: hydrocar- bures, oxyde d'azo- te, aldéhydes et a- cides organiques :	
— Produits du raf- finage du pétro- le, essence na- turelle et benzol	19,6	ammoniac, gou- drons. etc...	Inconnu
COMBUSTIBLES GAZEUX en milliards de m ³			
— Gaz industriel	20,5		

Tableau I : Consommation de combustibles et émission (estima-
tive) de polluants en Grande-Bretagne en 1950.

*
**

On a de plus en plus insisté, ces dernières années, sur l'importance des émissions d'hydrocarbures, d'autres produits organiques et des oxydes d'azote par suite des interactions photochimiques possibles de ces corps après leur dégagement dans l'atmosphère. Dans le passé, c'est la lutte contre les émissions de fumée, de poussières et de gaz sulfureux qui était au centre des préoccupations. A l'heure actuelle ce sont les produits d'échappement des moteurs à combustion interne qui viennent au premier rang dans les études de la pollution atmosphérique, comme le montre l'expérience acquise dans la région de Los Angeles. La consommation de combustibles solides décroît régulièrement au profit des combustibles liquides et gazeux, notamment pour le chauffage des habitations et de l'eau.

Le gaz sulfureux demeure l'un des principaux agents de contamination, non seulement du fait de son ubiquité, mais encore parce qu'il est libéré en quantités importantes dans certaines régions, par des installations pour la fusion des métaux, le raffinage du pétrole, la production d'électricité dans les grandes centrales thermiques à charbon, etc...

Les exemples suivants illustrent l'importance de l'émission possible par une seule source :

TYPE D'INDUSTRIE	CAPACITE QUOTID.	EMISSIONS de SO 2 (tonnes par jour)
Fonderie de Cuivre	2.250 tonnes de concentré à 30 % de soufre	1.350
Raffinage de pétrole	100.000 barils de pétrole brut à 1,5 % de soufre	400
Centrale thermique à charbon	4.500 tonnes de charbon à 3 % de soufre	270

Tableau II : Taux d'émission de SO 2 à partir d'une seule source

Le tableau suivant indique quelques valeurs comparatives des quantités d'agents de contamination pouvant être rejetées dans l'atmosphère par la combustion de charbon, d'huiles, de gaz, d'essence et de détritux dans les chaudières, les automobiles, les moteurs Diesel et les incinérateurs. La combustion de charbon donne la plus forte émission de matières solides ; principalement cendres et suie, oxydes de soufre et acides. Les gaz d'échappement des automobiles contiennent des quantités importantes non seulement d'hydrocarbures imbrûlés et d'autres matières organiques, mais encore d'oxydes d'azote. Les pourcentages les plus élevés d'oxydes d'azote sont fournis par les moteurs Diesel, puis par les installations à mazout. La combustion de détritux et de papier dans les poêles domestiques produit proportionnellement plus de matières organiques et d'agents de contamination divers que celle qui a lieu dans les incinérateurs municipaux, ceux-ci étant convenablement conçus et beaucoup plus efficaces.

(Les quantités indiquées au tableau III ne sont que des chiffres approximatifs moyens et varient avec la composition du combustible et les caractéristiques de fonctionnement du matériel ou des moteurs considérés).

**KILOGRAMMES de CONTAMINANTS par TONNE
de COMBUSTIBLE BRULE**

CONTAMINANTS	CHAUDIERES			MOTEURS		INCINERATEURS	
	à charbon	à mazout	à gaz	à essence	à gas-oil (diesels)	domestiques	municipaux
SOLIDES (charbon et matières particulaires)	75	—	—	0,05	17	23,2	12
OXYDES de SOUFRE exprimés en SO ₂	40	30	—	2,8	5	1	1
OXYDE d'AZOTE exprimés en NO ₂	4	13,5	6,9	12,3	24,5	5,3	1
AMMONIAC	—	13,5	—	0,3	—	1	0,2
ACIDES exprimés en CH ₃ CO ₂ H	15	13,5	1,3	0,3	5	13,7	0,3
ALDEHYDES exprimés en HCHO	—	1,3	1	2,8	2,5	2,6	0,7
AUTRES MATIERES organiques (y compris les hydrocarbures)	10	4,6	1,4	70,5	—	137	0,6

Tableau III : Estimation des émissions de contaminants par les chaudières, les moteurs à combustion interne et les incinérateurs.

*
**

Que retenir de cette étude ? Il existe schématiquement trois grandes sources de pollution atmosphérique :

1) Les foyers domestiques

entraient pour 50 % dans la pollution atmosphérique. La combustion complète du carbone émet du CO₂, peu dangereux; incomplète, comme elle l'est trop souvent, elle disperse le CO (très diffusible dans l'atmosphère) ce qui correspond à une perte d'énergie de 60 %. Comme la moitié des foyers sont mal conduits, il faut y ajouter les imbrûlés : charbon, goudrons, poussières. Mais surtout, les charbons renferment de 0,5 à 0,8 % de soufre, les fuels de 3 à 4 %, d'où

une émission importante de SO_2 , gaz particulièrement dangereux. Certaines centrales thermiques éliminent ainsi plusieurs centaines de tonnes par jour.

La période la plus dangereuse est celle de l'hiver. Chaque année, 230.000 tonnes d'anhydride sulfureux sont déversées dans l'atmosphère du département de la Seine, où la densité d'habitation est l'une des plus fortes du monde et en conséquence les foyers de chauffage très nombreux.

	PARIS	BANLIEUE
LOGEMENTS chauffés par un chauffage collectif	385.000	308.000
MAISONS individuelles avec chauffage central	8.000	110.000
LOGEMENTS ou MAISONS individuelles avec chauffage individuel	835.000	585.000

Tableau IV : Dénombrement des modes de chauffage dans l'ensemble du département de la Seine (pour 2.240.000 logements).

2) LES EMANATIONS INDUSTRIELLES

seraient responsables de 25 % de la pollution atmosphérique. Les cimenteries, les fonderies, les usines sidérurgiques et de produits chimiques (acides minéraux, fabriques de dérivés soufrés, d'insecticides et d'hormones végétales) provoquent les récriminations les plus vives. Les cheminées surélevées permettent une plus large dilution, ce qui contribue à atténuer les plaintes : ce procédé n'est qu'un palliatif. Trop souvent ces cheminées éliminent, non seulement leurs produits de combustion (CO_2 , CO, fumées, suies, SO_2 , etc...) mais en outre des produits chimiques, plus ou moins toxiques et en tous cas malsains (acide chlorhydrique, fluorhydrique, nitrique, etc...). Ce sont donc des gaz plus ou moins dangereux : ces cheminées élimineraient en outre des fumées et des poussières qui se trouvent ainsi rejetées dans l'atmosphère.

L'ensemble de ces émissions pollue cette atmosphère, diminue la visibilité, engendre la formation de brouillards qui contribuent à obscurcir le ciel.

Il en est de même des machines à vapeur dans les gares et des péniches qui sont tirées, sur les fleuves, par des moteurs Diesel.

L'exploitation du gaz de Lacq, par exemple, malgré la récu-

pération subséquente du soufre, élimine dans l'atmosphère 350 tonnes d'anhydride sulfureux par jour.

L'industrie nucléaire suscite plus d'appréhension que de plaintes. Un accident de réacteur peut en effet entraîner une contamination étendue par radioéléments mais, en marche normale, cette industrie a apporté la démonstration que les moyens modernes d'épuration des effluents sont très efficaces.

3) LA CIRCULATION AUTOMOBILE

est tenue pour responsable de 25 % de la pollution de l'air des grandes villes. Ici encore, l'une des impuretés principales de la combustion plus ou moins complète de l'essence, du gas-oil, de l'huile de graissage est le soufre (0,2 % toléré pour l'essence, 1 % pour le gas-oil). Mais on rencontre aussi des additifs antidétonants comme le plomb tétraéthyle, les bromure et chlorure d'éthylène, si bien que les gaz de combustion d'une automobile renferment, outre CO₂ et H₂O, du CO, des suies, des hydrocarbures imbrûlés (oléfinés), des peroxydes d'azote, des aldéhydes, des acides, des alcools, du SO₂, du Pb, Br, Cl, des composés du phosphore, etc...

Dans le département de la Seine, pour 1.710 kilomètres de voies publiques, le parc automobile est passé de 1.100.000 véhicules à quatre roues en 1960 à 1.700.000 en 1965.

Les consommations de carburant auto, qui étaient en 1960 dans ce département de 1.028.000 mètres cubes et celles du gas-oil de 171.500 mètres cubes se sont élevées respectivement en 1965 à 1.363.500 mètres cubes et 277.000 mètres cubes.

Ces chiffres montrent de plus la prépondérance des véhicules à essence par rapport aux véhicules à moteur Diesel. Or, d'après l'Union technique de l'automobile et du cycle, la quantité d'oxyde de carbone dégagé en une seule heure par le moteur à essence d'une voiture automobile peut varier de 250 à 1.000 litres en circulation urbaine, tandis qu'un véhicule à moteur diesel dégage une quantité d'oxyde de carbone beaucoup plus faible.

La proportion de CO est un des indices les plus sûrs du degré de pollution de l'atmosphère des rues par les automobiles. Elle a augmenté de 60 % en trois ans dans la région parisienne. Il faut savoir en effet que la quantité du CO des gaz d'échappement varie avec le régime du moteur (traces en accélération ; 0,4 % en volume en marche normale, 1,5 en décélération est voisin de 40 %, si bien qu'on a trouvé, à des carrefours très fréquentés, des teneurs en CO supérieures à 100 parties par million, dose à partir de laquelle des troubles légers peuvent se manifester. Les moteurs à combustion interne n'émettent en marche normale que 0,1 % en volume de CO,

s'ils sont bien réglés, mais la plupart du temps l'émission des suies imbrûlées atteste que le réglage est défectueux ou que le moteur travaille en surcharge, et c'est alors que les teneurs en CO augmentent ainsi que celles des hydrocarbures cycliques.

Bien que, comme chacun sait, l'oxyde de carbone soit un gaz toxique, il ne se révèle dangereux que dans certaines circonstances bien déterminées. Parce que c'est un gaz relativement léger (densité 0,967) et qui se dilue facilement dans l'atmosphère, le moindre mouvement de l'air, le moindre vent contribue largement à le diffuser. Toutefois, par temps très calme et sans vent, dans les artères relativement étroites, on a pu l'accuser de provoquer des troubles :

— d'abord chez les riverains au voisinage des barrages, dans les arrière-boutiques non ventilées ;

— dans certains tunnels routiers mal ventilés ;

— auprès de certains gardiens de la paix en fonction, ce qui justifie leur roulement.

Les enfants qui respirent à peu de distance du sol sont aussi les premiers menacés, et il est bon que les mères de famille sachent qu'on ne fait pas prendre n'importe quel air à sa progéniture.

Le résultat de cette pollution ? Il est facile à prévoir et est confirmé par les faits.

A Paris, la transparence de l'air diminue un peu plus chaque été, alors que le nombre de jours de brouillard tend à augmenter. Tandis qu'à Chateaudun, ville située à 140 kilomètres de Paris et dont le climat est très voisin de celui de la capitale, le nombre de jours de brouillard demeure immuable.

Paris compte 49 % de jours de brouillard léger de plus qu'en banlieue.

L'insolation a diminué d'environ 25 % ainsi que les phénomènes de photo-chimie en l'espace d'un demi-siècle.

Certains processus biologiques en sont gravement affectés. Ce qui nuit à la santé des habitants, tout particulièrement à celle des jeunes enfants, car on sait que la privation de soleil et en particulier des rayons ultra-violetts prédispose au rachitisme et à l'anémie.

II — INFLUENCE DES FACTEURS MÉTÉOROLOGIQUES

C'est dans l'atmosphère que s'effectue la dispersion des polluants de l'air à partir des sources contaminantes ; pour une source d'in-

tensité donnée, elle constitue le milieu qui conditionne la durée, la fréquence et le degré d'exposition de tous les récepteurs. Par ailleurs, les conditions météorologiques ne jouent qu'un rôle limité dans la pollution de l'air, puisque fondamentalement elle ne peuvent influencer sur le débit des sources de polluants et que les processus atmosphériques dont dépend la dispersion des contaminants échappent actuellement à tout contrôle.

Plusieurs paramètres fondamentaux régissent le transport et la dilution des polluants dans l'atmosphère. Le caractère dominant de l'atmosphère est sa variabilité continue. La température, le vent et les précipitations varient considérablement en fonction de la latitude, de la saison et de la topographie.

Il existe cependant d'autres paramètres météorologiques, importants pour l'étude de la pollution de l'air, qui sont moins bien connus et sur lesquels on possède des renseignements moins détaillés : turbulence du vent, gradient de température et de vent à basse altitude. Ces paramètres présentent des variations importantes à la fois dans le temps et dans l'espace. En fait, ce sont presque les seuls facteurs météorologiques sur lesquels l'homme ait pu sensiblement agir, mais uniquement à l'échelon local.

Pour comprendre le rôle de l'atmosphère en tant qu'agent de diffusion, il s'impose d'examiner la nature physique des processus qui contribuent à la dispersion des substances dans l'atmosphère et de considérer les effets des facteurs autres que météorologiques, tels que les éléments topographiques et géographiques.

COURANTS AERIENS

Le paramètre fondamental du transport des contaminants par l'atmosphère est le vent dont la vitesse et la direction dépendent du gradient vertical et du gradient horizontal de température dans l'atmosphère tant à grande qu'à petite échelle. La turbulence est d'autant plus importante et la dispersion des contaminants dans l'atmosphère plus rapide et plus complète, que la vitesse du vent est plus élevée. Etant donné que les gradients de température, horizontal et vertical augmentent en hiver, la vitesse du vent augmente aussi la plupart du temps. Dans une grande partie de l'Europe, les vents légers soufflent à la fin de l'automne et au début de l'hiver. Outre les changements saisonniers, on constate en de nombreux endroits une variation diurne du vent parfois plus marquée. Il est fréquent que sur le continent les heures nocturnes soient une période de stabilité à faible altitude. En raison d'une portance négative et du supplément d'énergie nécessaire aux mouvements verticaux, les polluants se dispersent lentement et peuvent se rassembler dans des

volumes relativement faibles. Il arrive même que, le vent étant léger et variable, les polluants soient refoulés vers leur source.

Les vents diurnes, par contre, généralement plus turbulents, plus rapides, facilitent les mouvements verticaux, la dilution des produits sera donc maximale pendant les journées claires et ensoleillées.

Outre le régime des vents, la topographie d'une région, que ce soit celle de la source ou celle des points exposés, peut jouer un rôle très important dans la pollution. Il faut cependant noter que celle-ci peut être très intense (même si la topographie ne limite pas la dispersion des polluants) lorsque la source est suffisamment importante. Le meilleur exemple en est fourni par les apparitions périodiques du Smog à Londres, dans lesquelles la topographie n'intervient pratiquement pas. Cependant, mis à part les cas de pollution observés à Londres, tous les accidents graves imputés à la pollution atmosphérique ont eu lieu dans des régions où les courants aériens étaient considérablement limités par la configuration du sol, l'écoulement étant toujours canalisé dans une seule direction ou confiné à une zone de relativement faible étendue.

Les vents locaux peuvent différer grandement du flux d'air caractéristique d'une région. Ces vents locaux, ascendants et descendants, se produisent presque chaque jour en certains endroits et sont exceptionnels ailleurs. L'existence de vents locaux variables est l'une des principales raisons pour lesquelles l'étude détaillée de chaque région s'impose à qui veut comprendre les divers régimes de pollution atmosphérique. Ces vents locaux sont difficiles à déceler, du moins avec certitude, pour les réseaux météorologiques classiques.

A ces variations horizontales du vent s'ajoutent des variations verticales très nettes. Les aspérités naturelles ou artificielles de la surface du sol engendrent une turbulence mécanique qui décroît avec l'altitude. En outre, le réchauffement du sol par le soleil provoque une turbulence thermique maximale au voisinage du sol et décroissant avec l'altitude. Il en résulte donc une décroissance de l'intensité des rafales de vent avec l'altitude, qui entraîne une diminution de la vitesse de dispersion des contaminants dans le même sens.

La turbulence, ou mouvement tourbillonnaire, est le mécanisme qui réalise pratiquement la diffusion atmosphérique. La turbulence totale résulte essentiellement de deux composantes, l'une mécanique, l'autre thermique. La turbulence mécanique est provoquée par le passage du vent sur les aspérités du sol : elle est proportionnelle à la rugosité de la surface terrestre et à la vitesse du vent.

La turbulence thermique est provoquée par le soleil ; elle dépend de la latitude, de la surface rayonnante et de la stabilité de l'atmosphère. Elle est maximale pendant les jours clairs d'été et minimale pendant les longues nuits d'hiver.

L'intervention de température a été retrouvée à la base des grands Smogs. L'air, pollué au niveau du sol, s'échauffe, remonte et vient se diluer dans la haute atmosphère, dont la température est plus basse que la sienne. Mais quand il se produit une inversion de température (l'air au voisinage du sol se refroidit, la température augmente avec l'altitude) il se constitue une sorte de plafond empêchant les substances nocives de monter vers la haute atmosphère, d'où l'accumulation de brouillards toxiques générateurs de Smogs.

ELIMINATION DES CONTAMINANTS DE L'ATMOSPHERE

La dispersion des contaminants dans l'atmosphère ne supprime pas les substances nuisibles, elle n'en assure que la dilution. Si la plupart des polluants n'étaient pas, ensuite, enlevés de l'air par d'autres processus, la couche inférieure de l'atmosphère ne permettrait plus depuis longtemps la vie de l'homme. Cette élimination peut se faire par gravité, à condition que les dimensions des particules soient suffisantes. Les particules plus petites qui constituent souvent une proportion importante des polluants, peuvent être éliminées par impact sur le sol, les plantes et les immeubles, etc... Les agents purificateurs les plus efficaces sont sans doute les précipitations atmosphériques.

Les plus grosses particules sont facilement entraînées par les gouttes de pluie. On a récemment montré comment les particules plus petites peuvent s'accumuler dans les gouttes de pluie et disparaître ainsi de l'atmosphère. On possède par ailleurs des preuves que la pollution de l'air peut ralentir les processus de formation des précipitations.

Les contaminants gazeux émis dans l'air sont principalement éliminés par absorption, notamment dans les océans et dans les précipitations atmosphériques. Les autres méthodes d'élimination, par combinaison chimique, sont vraisemblablement beaucoup moins importantes.

On peut conclure qu'en raison de l'urbanisation croissante de vastes régions du monde, il est probable qu'à l'avenir la pollution se fera sentir dans d'autres régions lorsque la concentration en polluants atteindra un niveau suffisant. Tel est sans doute déjà le cas dans de nombreuses régions fortement industrialisées d'Europe et des Etats-Unis. L'écoulement de l'air ne connaissant pas de frontières, le problème se pose à l'échelle internationale.

III — LES PRINCIPAUX POLLUANTS

1) NATURE PHYSICO-CHIMIQUE

Les agents de contamination atmosphérique peuvent, en gros, être classés en deux types :

1) Particules solides et liquides aéroportées de dimensions extrêmement variables, depuis les particules relativement importantes d'un diamètre supérieur à 20 μ , jusqu'aux suspensions de particules fines pouvant mesurer moins de 0,05 μ .

2) Gaz ou vapeurs, y compris les gaz permanents et les composés à un point d'ébullition inférieur à 200° C environ.

Bien que plus de 100 substances bien déterminées aient été identifiées comme étant des agents de contamination provenant des diverses activités humaines, de nombreux autres produits sont encore inconnus. La fraction organique particulaire par exemple est très complexe et contient un grand nombre d'hydrocarbure aliphatiques et aromatiques, d'acides, de bases, de phénols et de composés de divers autres types, ayant tous un rôle de la plus haute importance et une grande nocivité.

On sait en outre, que de nouveaux produits se forment par interaction des agents de contamination, après décharge dans l'atmosphère. De même, de nombreuses substances qui ne s'oxydent que très lentement à l'état massif, s'oxydent très rapidement ou se décomposent quand elles sont dispersées dans l'air sous forme de poussière fine.

A) LES AEROSOLS

Les particules dispersées dans un milieu gazeux forment un aérosol. Les termes « fumée, brouillard, brume et poussière » sont utilisés pour décrire des types particuliers d'aérosols, suivant la dimension, la forme et le comportement caractéristique des particules dispersées. Les particules elles-mêmes sont sphériques quand elles sont liquides, mais de formes diverses quand elles sont solides : les particules solides tendent toutefois à se comporter comme des sphères sous certains rapports. Les aérosols peuvent se former suivant deux processus principaux :

a) *condensation* au cours de laquelle des groupes de molécules se réunissent pour produire des particules ayant les dimensions des substances colloïdales. Exemple : le chauffage de substances volatiles provoque le dégagement de vapeurs qui, en se refroidissant, forment des particules liquides ou solides ; ou bien de fines particules de poussières peuvent former les noyaux sur lesquels la vapeur se condensera pour produire un aérosol.

b) *Dispersion* au cours de laquelle une matière grossière se divise en particules fines. Quelques exemples : la production de scories volantes dans les foyers alimentés par un combustible pulvérisé ou bien l'émission de poussières pendant le cracking catalytique.

DIMENSION des PARTICULES

Les particules en suspension dans l'atmosphère sont habituellement classées, d'après leur dimension, soit en matière déposée (poussières), soit en matière finement divisée en suspension (aérosols). Les cendres, poussières grossières et déchets, constitués de particules d'un diamètre supérieur à 10 μ , tombent assez rapidement et forment l'essentiel de la matière déposée. Les particules plus fines, d'environ 5 μ à 0.1 μ , ou moins, forment des suspensions aériennes mécaniquement stables. Les plus fines particules de ce type sont animées d'un mouvement brownien et peuvent être dispersées dans l'atmosphère par les vents, pratiquement comme un gaz.

Par définition, les aérosols comprennent en général toutes les particules solides et liquides d'un diamètre compris entre environ 100 μ et 0,01 μ .

Le tableau suivant indique le diamètre des particules de quelques aérosols typiques par rapport au spectre électro-magnétique :

	Type de dispersion	Diamètre des particules	Spectre électromagnétique
POUSSIÈRES	Gouttes de pluie	5.000 - 500 μ	μ
	Brouillard naturel	40 - 1	
	Poudres de calcaire	800 - 30	Infrarouge 420 - 0.7
	Charbon pulvérisé	400 - 10	
	Ciment	150 - 10	
	Cendres volantes	80 - 3	
	Poussières de silice	10 - 0,5	
VAPEURS et BROUILLARDS	Brouillard de trioxyde de soufre	3 - 0,5	Spectre visible 0,7 - 0,4
	Vapeurs alcalines	2 - 0,1	
	Fumée d'huiles	1 - 0,03	Ultra violet 0,40 - 0,0015
FUMÉES	Fumée de charbon	0.2 - 0.01	
	Fumée de tabac	0.15 - 0.01	
	Impuretés normales en atm. calme	1 - 0.01	

Le brouillard, la brume et les nuages sont constitués par des particules liquides, qui sont formées essentiellement d'eau quand elles sont d'origine naturelle. Les vapeurs se forment par volatilisation à température élevée ou par réaction chimique: L'appellation générale de « poussière » est réservée habituellement aux particules solides, comme celles qu'engendrent les opérations mécaniques et les processus naturels impliquant une dispersion et une désintégration de matériau. Les fumées sont produites par combustion ou distillation sèche et peuvent contenir des particules soit solides soit liquides.

Dans la région de Détroit Windsor, aux Etats-Unis, des études sur la distribution de la dimension des particules aéroportées ont montré que 85 % des échantillons recueillis avaient une dimension inférieure à 2 μ . On a constaté également que 99 % des particules recueillies avaient un diamètre inférieur à 10 μ .

La dimension des aérosols est un facteur important de la pénétration des particules dans les poumons par les voies respiratoires. Les particules les plus grosses sont arrêtées dans les fosses nasales, et peu de particules peuvent franchir ce passage quand leur diamètre est supérieur à 5 μ environ. La pénétration dans les poumons augmente rapidement au-dessous de 5 μ , mais la rétention dans les poumons commencent à diminuer quand la dimension devient inférieure à 1 μ environ.

Les très fines particules (moins de 0,5 μ) pénètrent facilement dans les poumons, mais seule une faible fraction y est retenue.

CONCENTRATION NUMERIQUE des PARTICULES

La concentration numérique des particules en suspension par unité de volume peut être extrêmement forte dans une atmosphère polluée bien que la concentration pondérale puisse être faible par rapport à celle des agents gazeux de contamination. C'est ainsi, par exemple, qu'une concentration en aérosol égale à 0,1 mg/m³ correspond environ à 1.600 millions de particules par mètre cube, en admettant que le diamètre moyen des particules est égal à 0,5 μ et leur densité égale à l'unité. Même un air relativement propre peut contenir plusieurs dizaines de millions de particules d'aérosols par mètre cube. En cas de smog intense, il peut y avoir jusqu'à 7 et même 10 milliards de particules par mètre cube. Dans le smog de Los Angeles, la concentration des particules d'un diamètre supérieur à 0,5 μ est estimée à environ 2 milliards par mètre cube.

SEDIMENTATION ET DISPERSION

Deux formes de sédimentation s'observent dans un aérosol contrôlé : sédimentation calme en l'absence de courants de convection et sédimentation agitée quand l'aérosol est soumis à un brassage constant.

Dans les aérosols hétérogènes, tels que ceux qui se trouvent à l'air libre, il est beaucoup plus difficile d'analyser les processus de sédimentation, par suite des conditions météorologiques et de la variété des dimensions et formes de particules possibles. Quand un nuage de poussière atteint le sol, les particules se déposent à une vitesse qui est fonction de leur masse et de leur dimension.

RETOMBEES de POUSSIÈRES

La teneur de l'atmosphère inférieure en impuretés, contaminants gazeux ou particules en suspension, varie considérablement d'un lieu à un autre. L'air le plus propre se trouve au-dessus de l'Océan. En adoptant cet étalon comme unité, la pollution moyenne de l'air rural est 10 fois plus forte, celle des petites villes environ 35 fois, et celle des grandes villes 150 fois. Pratiquement, lorsque les conditions météorologiques sont défavorables et les sources industrielles de pollution importantes, le taux de pollution atmosphérique des grandes villes peut-être plusieurs milliers de fois supérieur à celui que l'on trouve au-dessus des océans. Les particules de fumée et de poussière les plus grosses finissent par se déposer et peuvent être mesurées dans des bacs à retombées de poussières. La quantité de poussières d'origine naturelle apportée par le vent (particules de sable et de terre par exemple) n'excède généralement pas plus de 10 % celle des fumées et poussières épuisées par les cheminées dans les grandes villes.

La distribution des retombées de poussières dans les grandes villes donne d'importantes indications sur la quantité de cendres et de poussières provenant des cheminées d'usine. Les résultats sont habituellement exprimés en tonnes par kilomètre carré et par mois, et servent à indiquer les sources et les zones à forte ou à faible contamination. On obtient couramment des valeurs de 20 à 40 tonnes par km² et par mois (et même davantage) dans les quartiers les plus contaminés des grandes villes fortement polluées, où l'on brûle de grosses quantités de charbon.

MATIERES DEPOSEES DANS QUELQUES GRANDES VILLES

VILLES	RETOMBEES OBSERVEES (Tonnes - km2 - Mois)	ANNEES
<i>Amérique du Nord</i>		
Détroit	27,5	1956
Chicago	26,3	1947
Los Angelès	14,4	1948
New-York	30	1956
<i>Grande-Bretagne</i>		
Birmingham	32,7	1954
Londres	39	1954
Manchester	34	1954

(Les valeurs indiquées ont été corrigées, aux fins de comparaison, par alignement approximatif sur les valeurs qui auraient été obtenues avec le type de collecteur utilisé dans la région de Détroit).

On observe une nette variation saisonnière de la sédimentation des matières solides, avec de faibles valeurs pendant les mois d'été et des valeurs élevées pendant les mois d'hiver, en raison de la consommation accrue de combustibles de chauffage.

FUMÉES ET MATIÈRES EN SUSPENSION

Les fumées et les matières en suspension sont constituées de fines particules dont la dimension est généralement inférieure à 1 μ . Les particules ont une faible vitesse de sédimentation et sont facilement transportées par les courants aériens : quand elles sont de très faible dimension, elles se comportent presque comme des molécules de gaz.

La concentration des matières particulaires en suspension est un indice précieux de la pollution de l'air qui résulte tant des activités humaines que des processus naturels. Les variations de cette concentration peuvent être étroitement mises en parallèle avec les conditions météorologiques et les habitudes humaines. Les observations faites dans de nombreuses grandes villes indiquent un cycle quotidien avec un rythme diurne, un maximum se produisant le matin, vers 8-9 heures, et un autre à la fin de l'après-midi ou dans la soirée. Cette variation diurne reflète l'influence des fluctuations du rayonnement solaire, de la turbulence de l'air et d'autres facteurs.

COMPOSITIONS CHIMIQUES DES PARTICULES POLLUANTES

Les agents contaminants des aérosols présents dans l'air des villes ont une composition chimique extrêmement complexe. En plus

du carbone ou de la suie et des goudrons, plus de 20 éléments métalliques ont été trouvés par analyse chimique ou spectrographique de la fraction inorganique. Les éléments métalliques les plus abondants sont le silicium, le calcium, le sodium, l'aluminium et le fer. On trouve également dans certains cas des quantités relativement élevées de magnésium, de plomb, de cuivre, de zinc et de manganèse. La concentration de ces divers éléments est fonction de la nature des principales industries et de l'efficacité des mesures adoptées pour limiter les émissions de particules. On a pu établir une corrélation entre la distribution du plomb dans l'air des villes et la densité du trafic automobile, certains composés du plomb étant largement utilisés comme produits anti-détonants dans l'essence.

Les constituants organiques de la pollution atmosphérique font l'objet d'un intérêt croissant depuis quelques années par suite de leur importance sanitaire, notamment les hydrocarbures aromatiques qui sont des cancérigènes puissants. Dans la région de Los Angelès, les hydrocarbures forment l'un des groupes les plus importants d'agents de pollution déchargés dans l'atmosphère. Une relation a été établie entre la teneur en composés aromatiques polycycliques condensés de la fraction organique de l'atmosphère urbaine (notamment les benzopyrènes) et l'accroissement de la fréquence du cancer du poumon.

B) GAZ et VAPEURS

GAZ SULFUREUX

En 1967, les habitants de Paris ont respiré 230.000 tonnes d'anhydride sulfureux, l'un des gaz considérés comme les plus irritants pour les muqueuses pulmonaires. Chiffre effarant, et pourtant, par comparaison (Los Angelès, New-York, Londres), Paris est une ville éparignée.

Ce gaz, qui est l'un des principaux agents de contamination, a fait l'objet d'importantes études dans de nombreuses zones urbaines et industrielles de Grande-Bretagne, des Etats-Unis et d'autres pays. La consommation annuelle du charbon dans ces villes peut atteindre plusieurs millions de tonnes (New-York 29×10^6 tonnes) en plus de celle de combustibles liquides et gazeux. La teneur en soufre du combustible varie de moins de 1 % pour un anthracite de bonne qualité, à plus de 4 % pour certaines qualités de charbon bitumeux à forte teneur en éléments volatils.

On observe une variation saisonnière nette dans certaines zones, les concentrations moyennes augmentant pendant la saison froide, période de chauffage.

On a pu constater, ces dernières années, une diminution progressive des concentrations moyennes de gaz sulfureux dans l'atmos-

phère de plusieurs grandes villes, grâce à l'utilisation accrue de charbon à basse teneur en soufre et de gaz naturel ou de combustible liquide pour le chauffage des locaux.

ACIDE SULFHYDRIQUE et SULFURES ORGANIQUES

Les opérations industrielles ne libèrent habituellement pas dans l'atmosphère des villes des quantités appréciables de ces substances dont l'odeur est gênante lorsqu'elles sont présentes dans l'air à des concentrations 10 à 100 fois plus faibles que la concentration minimale de gaz sulfureux décelable par l'odorat. La production du coke, la distillation du goudron, le raffinage du pétrole et du gaz naturel, la fabrication de la rayonne et certains procédés chimiques entraînent un dégagement de mercaptans et d'acide sulfhydrique.

Bien que la concentration maximale admissible d'acide sulfhydrique soit de 20 p.p.m., l'odeur de ce produit est déjà décelable entre 0,035 et 0,10 p.p.m.

ACIDE FLUORHYDRIQUE et ACIDE CHLORHYDRIQUE

On peut trouver des fluorures à l'état gazeux ou solide, dans l'atmosphère à la suite de dégagements provenant de différentes industries : usines productrices d'aluminium, fabriques d'engrais phosphatés, briqueteries, poteries, installations d'émaillage du fer etc... De faibles quantités de ces produits sont également libérées par la combustion du charbon, ainsi que par l'utilisation de fondants dans la fabrication de la fonte et dans diverses opérations des hauts fourneaux et des cubilots. L'acide fluorhydrique et les fluorures volatils sont d'importants contaminants atmosphériques même à des concentrations extrêmement faibles : de 0,001 à 0,1 p.p.m.

L'acide chlorhydrique et le chlore proviennent de l'industrie des alcalis. Mais la récupération des sous-produits de la fabrication de la soude est relativement facile et rentable, de sorte que les dégagements importants ne se produisent que rarement, par accident.

OXYDES d'AZOTE et AMMONIAC

Il est probable que les oxydes d'azote occupent la seconde place comme agents de contamination atmosphérique dans de nombreuses villes ; ils viennent immédiatement après le gaz sulfureux. Ces oxydes sont d'importants sous-produits de l'industrie chimique (fabrication de l'acide azotique, de l'acide sulfurique par le procédé des chambres de plomb, nitration de composés organiques, fabrication des intermédiaires du nylon) et se forment en quantité variable dans les moteurs à combustion interne. Il s'en trouve des quantités notables dans les gaz d'échappement des camions et des voitures (près de 500 tonnes quotidiennement à Los Angeles).

Le bioxyde et le peroxyde d'azote sont l'un et l'autre facilement absorbés par le sang, après avoir été inhalés, et se combinent à l'hémoglobine pour former un complexe, comme l'oxyde de carbone. Sous ce rapport et à concentrations équivalentes, ces oxydes sont plus dangereux que l'oxyde de carbone.

L'ammoniac et ses sels ne jouent pas un très grand rôle en tant que contaminants de l'air. L'ammoniac est une matière première importante de la fabrication des engrais et des produits organiques, ainsi que de la production de l'acide azotique par oxydation. Sa récupération est essentielle au point de vue économique lors de telles opérations, ainsi qu'au cours de la production de gaz par distillation de la houille.

ALDEHYDES

On trouve parfois dans l'atmosphère de certaines cités industrielles des aldéhydes inférieurs, à des concentrations à peu près semblables à celle du gaz sulfureux. De plus l'oxydation incomplète du carburant et des huiles lubrifiantes dans les moteurs entraîne la formation d'aldéhydes et d'acides organiques.

Le formaldéhyde provoque une irritation oculaire chez certaines personnes même à la concentration de 0.25 p.p.m., bien qu'il faille une concentration plusieurs fois plus élevée pour affecter la majorité des sujets exposés.

OXYDE de CARBONE

La teneur de l'air urbain en oxyde de carbone, deuxième agent de pollution par ordre d'importance après le gaz carbonique, présente souvent de fortes variations diurnes. Dans les rues des villes elle varie avec la densité du trafic automobile.

EVOLUTION de la POLLUTION de l'ATMOSPHERE des VOIES PARISIENNES par les VEHICULES AUTOMOBILES CIRCULANT EN SURFACE et dans les PASSAGES SOUTERRAINS (Risque maximal) :

a) Moyenne générale des teneurs en oxyde de carbone des prélèvements effectués en surface :

Teneurs moyennes en CO observées en p.p.m. (partie par million en volume)

1960	1961	1962	1963	1964	1965
22,4	19,9	21	31,5	23,9	24,3

b) Moyenne générale des teneurs en CO des prélèvements pratiqués dans treize passages souterrains parisiens.

Teneurs moyennes en CO observées en p.p.m.

1960	1961	1962	1963	1964	1965
18,3	21,8	22,1	32,6	30,6	26,8

Nous envisagerons au cours du chapitre suivant les méfaits de l'oxyde de carbone.

*
**

Bien qu'on ait sérieusement progressé dans la connaissance de la nature et de la composition des polluants atmosphériques, il reste encore beaucoup à faire. Le nombre des substances présentes dans l'atmosphère des zones urbaines qui ont, jusqu'ici, été identifiées avec quelque certitude, est limité. La grande variété des substances produites dans l'air par oxydation, réduction, photochimie, polymérisation et autres processus, constitue un nouveau domaine d'une étendue considérable.

Nous avons traité de la nature physico-chimique des principaux polluants. Ce chapitre ne saurait être complet si nous omettions de mentionner :

— les polluants radioactifs dont nous parlerons dans un chapitre ultérieur.

— les microbes et les virus pathogènes.

L'atmosphère des villes contient de nombreux germes en suspension. Alors qu'au sommet du Puy-de-Dôme on ne décèle que 3 à 10 germes par mètre cube, on en trouve 8.000 à Paris en moyenne. Ce chiffre s'élève à 1.200.000 à la station de métro Saint-Lazare.

Il s'agit heureusement de germes saprophytes pour la plupart, sans danger pour la santé publique.

Les pollutions microbiennes et virales, provenant de l'élimination dans l'air des germes des malades ou porteurs sains, ne présentent un risque de contamination que dans les lieux fermés (locaux individuels ou collectifs et véhicules de transport).

Il faut cependant noter la probabilité de synergie entre l'action microbienne et l'action chimique, déterminant une exaltation de virulence des germes dans le cas de smogs.

DEUXIÈME PARTIE

LES EFFETS NOCIFS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR LA SANTÉ DE L'HOMME

I — MÉCANISME D'ACTION DES POLLUANTS DE L'AIR

Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé de l'homme ont généralement pour origine un contact entre les polluants et l'organisme.

Normalement, le contact corporel se produit à la surface de la peau et des membranes exposées. Le contact de la peau avec les polluants de l'air présente beaucoup moins d'importance, du point de vue physiologique, que le contact des surfaces membraneuses de l'organisme avec l'air ambiant, sauf dans quelques rares cas : vapeurs très fortement irritantes et certains agents auxquels la peau est allergique (par exemple : *Rhus toxicodendron*). Quant au contact des polluants avec les membranes exposées, il peut être extrêmement important pour deux raisons : ces membranes sont particulièrement sensibles aux lésions et elles présentent un pouvoir d'absorption élevé par rapport à celui de la peau. Nous pensons que, dans l'étude des effets de la pollution de l'air sur les membranes, il faut avant tout s'attacher aux propriétés irritantes des polluants. Les produits aéroportés (gaz, vapeurs, fumées, buées, poussières) peuvent entrer en contact avec les membranes de l'œil, du nez, des sinus nasaux, de la gorge, de l'arbre trachéobronchique du parenchyme pulmonaire, et provoquer leur irritation. Certaines substances irritantes peuvent même atteindre la muqueuse du tractus digestif.

L'irritation se manifeste par le fonctionnement des mécanismes de défense de l'organisme. Dans le cas des surfaces oculaires, conjonctive et cornée, la première réaction est une gêne provoquée par une sensation de brûlure. Puis surviennent des battements de

paupières, avec larmoiement abondant qui débarrasse très efficacement l'œil des substances irritantes. Les conduits irréguliers du nez dirigent sur les muqueuses une partie importante des polluants aéroportés. Les surfaces humides et les vibrisses éliminent une partie des polluants et les empêchent de pénétrer plus avant dans les voies respiratoires. Les sécrétions mucoides qui se trouvent normalement sur les parois des cavités nasales et de la gorge, et l'excédent de sécrétion provoqué par les produits irritants, protègent l'épithélium. Le nez a donc une action filtrante et retient une très faible partie des gaz inhalés, il peut arrêter les particules solides ou liquides, notamment celles de dimensions égales ou supérieures à 5μ .

L'odorat, étant une fonction nasale qui assure un certain degré de protection contre les effets de la pollution de l'air, est mentionné ici mais la protection qu'il offre contre les répercussions de la pollution atmosphérique sur la santé est d'ailleurs faible. Il n'est par exemple que passablement efficace pour déceler le gaz sulfureux, polluant qui se retrouve dans l'atmosphère de nombreuses villes. L'oxyde de carbone, polluant gazeux inodore, échappe à la détection par l'odorat.

Les polluants irritants de l'air, lorsqu'ils atteignent le larynx, à forte concentration, peuvent provoquer la fermeture brutale de la glotte, empêchant ainsi tout passage d'air, ce qui avertit le sujet d'avoir à gagner une atmosphère moins irritante.

Une protection importante est réalisée au niveau des membranes superficielles de l'arbre trachéobronchique par la sécrétion de mucus et par l'action des cils vibratiles. Le mouvement flagellaire des cils fait remonter vers la gorge les particules et les gaz dissous arrêtés par le mucus. En arrivant dans la gorge, ces particules sont expectorées ou dégluties. Le mécanisme de la toux élimine également les produits indésirables de l'arbre trachéobronchique et des parties profondes des poumons. Quand un gaz fortement irritant atteint les membranes de la trachée et des bronches, il paralyse les cils vibratiles et entraîne même la desquamation des couches superficielles de l'épithélium. Il est prouvé que l'irritation répétée de ces membranes entraîne des modifications hyperplasiques et métaplasiques des cellules. Le rapport entre les altérations métaplasiques et la genèse du cancer des bronches n'est pas encore connu.

1) *EFFETS IRRITANTS*

La zone de l'appareil respiratoire sur laquelle agit un gaz irritant dépend en partie de l'hydrosolubilité de ce gaz. Tout gaz irritant inhalé, s'il est très soluble dans l'eau, peut se dissoudre

dans les sécrétions aqueuses de la partie supérieure de l'appareil respiratoire ; il agit alors dans cette zone des voies aériennes où l'épithélium résiste mieux aux lésions que les parties plus profondes de l'arbre respiratoire. Cependant cette solution de gaz peut-être fortement modifiée par la présence d'aérosols dans l'air inhalé. Ainsi un gaz qui seul ne pénétrerait pas au-delà de la trachée et des grosses bronches peut être absorbé ou adsorbé par des aérosols et, lorsque ceux-ci sont d'un diamètre suffisamment faible, être transporté profondément dans les poumons, parfois même jusqu'aux parois alvéolaires. Lorsqu'ils atteignent le fond des voies respiratoires, les aérosols chargés de gaz peuvent exercer leur action au contact des parois ; le gaz peut aussi être libéré, par désorption, dans les voies aériennes et agit sur la couche épithéliale sous forme de molécules libres. De nombreux facteurs, inexpliqués et non étudiés, interviennent dans ces phénomènes et dans d'autres qui leur sont intimement liés. Deux d'entre eux viennent tout de suite à l'esprit. Un gaz irritant, absorbé par la muqueuse de la partie supérieure de l'arbre respiratoire, peut provoquer un spasme réflexe des bronchioles éloignées et entraîner des symptômes graves.

Deuxièmement il a été prouvé que de très fines particules de certains produits, qui par eux-mêmes sont généralement considérés comme inertes, du point de vue physiologique ou pharmacologique, peuvent provoquer une constriction bronchique sans doute par irritation locale inexpliquée.

Quand l'air inhalé contient plusieurs gaz ou aérosols irritants, les effets varient. L'association de plusieurs produits irritants peut conduire à une simple addition des effets de chaque produit isolé ; mais l'effet total peut aussi être supérieur (synergie) ou inférieur (antagonisme) à la somme des effets de chaque substance irritante prise isolément. Le mécanisme qui expliquerait ces variations de l'action des irritants gazeux n'est pas encore entièrement élucidé.

La gravité de la réponse qu'un tissu peut faire à un gaz irritant ne dépend pas toujours de la concentration du gaz et de la durée de l'exposition. C'est ainsi que des expositions à de très faibles concentrations de gaz irritants peuvent être longuement prolongées et ne produire pratiquement aucun effet visible ; par contre, la même quantité de gaz irritant, inhalée en une seule fois, peut provoquer des lésions importantes. Ce fait souligne combien il y a lieu de considérer les taux maximaux des concentrations de gaz irritant dans l'étude des effets de la pollution de l'air sur les poumons. En fait, une forte concentration passagère peut avoir une grande importance physiologique ; c'est pourquoi il n'existe peut-être pas de relation entre les « moyennes » quotidiennes des taux de concentra-

tion pour les gaz irritants de l'air et l'irritation observée sur les poumons.

Les études expérimentales des effets des gaz irritants sur les poumons de l'homme et des animaux montrent que les lésions résultantes peuvent être graves. Tous les gaz irritants qui peuvent exister en tant que polluants de l'air ambiant ne sont pas connus ; certains gaz ont cependant été désignés comme agresseurs probables. Par exemple, dans certains épisodes aigus de pollution atmosphérique, le gaz sulfureux a été sérieusement incriminé. Nous n'examinerons que deux gaz, le dioxyde de soufre et l'ozone, qui ont été abondamment étudiés en tant que polluants atmosphériques irritants. Des recherches ultérieures permettront d'établir si ce sont vraiment eux les principaux agresseurs.

DIOXYDE de SOUFRE

Le dioxyde de soufre ou gaz sulfureux est présent dans l'air de la plupart des villes, il provient principalement de l'utilisation des combustibles fossiles contenant du soufre. Il se retrouve en quantités appréciables dans l'air des villes où le charbon, surtout les houilles de qualité inférieure et certains mazouts sont les principaux combustibles utilisés pour le chauffage et l'obtention d'énergie. Cette situation contraste avec celle des localités où le gaz naturel, les mazouts à très faible teneur en soufre et leurs dérivés constituent le combustible principal. A New-York, par exemple, une des plus grandes villes du monde, il a été calculé que 1.350.000 tonnes de gaz sulfureux sont annuellement émises par la combustion de l'équivalent de 29 millions de tonnes de charbon.

Le soufre, de poids moléculaire 32, se combine à l'oxygène pour former le dioxyde de soufre, de poids moléculaire 64, soit le double du poids moléculaire de l'élément de départ, le soufre. Par conséquent, dans le calcul de la quantité de gaz sulfureux théoriquement dégagée par la combustion d'un combustible contenant du soufre, le poids de ce soufre doit être multiplié par deux pour obtenir une estimation de la quantité de gaz sulfureux qui peut être émise,

Il a été prouvé qu'à une concentration relativement faible, assez fréquente dans l'air, l'inhalation de gaz sulfureux provoque, tant chez les animaux d'expérience que chez l'homme, un spasme passager des muscles lisses des bronchioles ; des concentrations légèrement plus élevées entraînent une augmentation de la sécrétion de mucus sur les parois des voies aériennes supérieures ; des concentrations encore plus élevées provoquent une inflammation grave de la muqueuse avec desquamation superficielle de l'épithélium.

Les effets irritants du gaz sulfureux, notamment le spasme bronchiolaire, sont aggravés par l'air froid. Les réactions à ces effets entravent la fonction pulmonaire.

Dans certaines conditions, liées en partie à l'énergie solaire et en partie à la présence simultanée dans l'air de certains composés métalliques à pouvoir catalyseur, une fraction du gaz sulfureux est oxydée en trioxyde de soufre formant une buée, plutôt qu'un gaz, extrêmement irritante. Une partie de chacun de ces deux gaz forme, en présence de vapeur d'eau (ou d'eau) respectivement de l'acide sulfureux et de l'acide sulfurique. Il est probable qu'une partie du trioxyde de soufre présent dans l'air provient directement du même processus de combustion que le gaz sulfureux. Dans certaines villes, il a été prouvé que le brouillard renferme du trioxyde de soufre en quantité appréciable par rapport à la quantité de dioxyde de soufre présente. Les expériences d'inhalation de trioxyde de soufre par les animaux et l'homme montrent que c'est un irritant très violent, bien plus que le dioxyde : il provoque des bronchospasmes graves à des concentrations relativement faibles. De plus, on observe une nette synergie dans la réaction physiologique par exposition à des faibles concentrations simultanées des deux gaz.

OZONE

L'Ozone est un gaz qui irrite l'appareil respiratoire et qui pénètre beaucoup plus profondément dans les poumons que les oxydes de soufre. L'origine de l'ozone atmosphérique est mal connue ; il est probable que la combustion et que la lumière solaire interviennent dans la formation de ce polluant.

Des études faites sur des animaux d'expérience ont montré que les inhalations d'ozone, à des concentrations beaucoup plus faibles que celles qui provoquent la mort par œdème du poumon, peuvent finir par faire apparaître une résistance à l'irritation provoquée par ce gaz. Chez les animaux préalablement exposés à de faibles concentrations d'ozone, une nouvelle administration de doses qui seraient normalement lethales n'entraîne pas la mort. Le mécanisme exact de cette réponse est inconnu. Un fait encore plus important a été découvert : les animaux soumis pendant des mois à des inhalations quotidiennes de doses subléthales d'ozone présentent un épaississement fibreux des parois bronchioliques. Des observations similaires ont été rapportées en ce qui concerne l'inhalation de gaz sulfureux. L'importance de cette découverte en ce qui concerne l'homme est jusqu'ici inconnue, mais il faut noter la ressemblance frappante entre ces observations histologiques et certaines observations sur les premiers stades de la bronchite chronique chez l'homme.

2) EFFETS NON IRRITANTS

Si les effets irritants sont l'œuvre des gaz, les aérosols sont principalement responsables d'effets non irritants.

Les polluants atmosphériques nocifs non irritants exercent généralement leurs effets sur l'organisme après absorption par les poumons et dépôt ailleurs dans l'organisme. Il est évident que la vitesse d'absorption est influencée, entre autre, par la nature du produit inhalé. Il est sans doute moins évident que le degré d'absorption d'un polluant non irritant puisse être modifié par certains facteurs accessoires, comme la présence simultanée, dans l'air inhalé, d'autres polluants éventuellement irritants. Un rapport intéressant a récemment suggéré que l'irritation pulmonaire par un agent nocif accroît la vitesse d'absorption dans le sang d'autres agents nocifs potentiels. Dans le cas des cancérogènes aéroportés, qui peuvent exercer une action locale sur l'arbre respiratoire, la nature irritante de la seconde substance inhalée peut être de grande importance. La substance peut, par exemple, être suffisamment irritante pour paralyser partiellement les cils vibratiles de la paroi trachéobronchique, ce qui accroît la durée de contact entre le produit cancérogène potentiel et l'épithélium sensible. Il se pourrait que se produise en outre un autre phénomène important : la dénudation des couches superficielles des cellules épithéliales, provoquée par la substance irritante, entraînant un contact plus intime entre les cellules profondes et le produit cancérogène.

Les gaz non irritants qui parviennent jusqu'aux alvéoles pulmonaires sont absorbés dans le sang suivant des lois physiques et physiologiques bien connues. La vitesse d'absorption dépend de nombreux facteurs, notamment des suivants :

- a) concentration du gaz dans l'air ;
- b) solubilité du gaz dans les liquides organiques, en particulier dans le sang ;
- c) quantité de gaz déjà présent dans le sang et les tissus ;
- et d) durée d'exposition au gaz.

Le gaz est transporté dans le sang à partir des poumons vers d'autres parties de l'organisme où il peut agir sur les tissus sensibles. Une fraction du gaz absorbé qui est transportée par le sang circulant est excrétée par les poumons.

Une autre partie se combine à d'autres substances de l'organisme, change de forme et peut être excrétée par les reins.

Les substances solides et liquides qui sont émises dans l'air par toutes les sources sont en grande partie formées de particules qui, en raison de leurs dimensions et de leur masse, sédimentent très rapidement.

Ne restent en suspension dans l'air que les particules beaucoup plus petites, dont le dépôt, plus lent, dépend en partie des mouvements de l'air. Ces particules liquides et solides (aérosols) étant transportées par l'air pendant des périodes de temps appréciables peuvent être inhalées. Dans les aérosols inhalés, seules les particules d'environ $1\ \mu$ et moins peuvent atteindre les alvéoles pulmonaires ; la rétention alvéolaire est maximale pour les particules de diamètre compris entre 1 et $0,6\ \mu$ ou inférieures à $0,2\ \mu$. La rétention des particules solides et liquides dépend en partie du rythme et de l'amplitude de la respiration ainsi que de la densité relative des produits inhalés. Les aérosols solides passent des alvéoles dans le sang selon leur solubilité dans les liquides superficiels et interstitiels du parenchyme pulmonaire. On a pensé que les aérosols solides pouvaient être modifiés par ces liquides et augmenter ainsi de solubilité. Certains aérosols solides et peut-être certaines lipobuées restent pratiquement insolubles dans les liquides aqueux qui tapissent les parois alvéolaires et sont entraînés par des cellules circulantes qui les transportent vers le système lymphatique. Ils se déposent alors aux points de sédimentation des lymphatiques pulmonaires ou dans les ganglions lymphatiques. Certaines particules insolubles traversent les parois alvéolaires et gagnent les canaux lymphatiques sans avoir été phagocytées par les leucocytes. Des particules solides de silice, d'amiante et de certaines formes de carbone, par exemple, peuvent, quand elles sont en quantités suffisantes, exercer localement une action nocive (fibrose) dans les interstices pulmonaires et dans les tissus lymphatiques.

Les aérosols dissous qui parviennent jusqu'au sang circulant sont transportés par lui vers d'autres organes vitaux. Ils sont en partie excrétés, notamment par les reins et le tractus intestinal. Certains s'accumulent dans divers organes spécifiques et atteignent une concentration telle qu'ils peuvent exercer une action toxique. D'autres agents nocifs potentiels sont neutralisés par les mécanismes de défense de l'organisme.

A l'exception des effets particuliers du Beryllium et de ses dérivés, des produits radioactifs et peut-être des dérivés du manganèse, aucun effet toxique général sur l'organisme humain n'a été signalé à la suite d'une exposition prolongée à de faibles taux de pollution atmosphérique urbaine. De plus les rapports sur les épisodes aigus de pollution de l'air indiquent que l'effet nuisible sur la santé était dû à une action locale sur les membranes exposées ; chez certains

sujets sensibles, l'arbre respiratoire était atteint et cet effet sur les poumons conduisait à une action secondaire sur le cœur. De nombreux auteurs pensent cependant qu'il est dangereux d'en déduire, sauf dans trois cas exceptionnels (Béryllium, isotopes radio-actifs et manganèse), que les polluants atmosphériques n'ont pas d'effets généraux. Des modifications générales insoupçonnées seront peut-être mises à jour par de nouvelles méthodes d'investigation plus fines, encore à l'étude.

Les principales études portent sur les éléments du tractus respiratoire car, ainsi que nous l'avons précédemment indiqué, les muqueuses exposées sont susceptibles d'être fortement irritées. Il semble également que le cœur puisse présenter des altérations importantes, résultant secondairement de l'irritation pulmonaire. Mais en raison des énormes réserves de résistance du cœur et des poumons, on pense que ces études révéleront moins une maladie primitive de ces organes, qu'une aggravation des troubles cardiaques ou pulmonaires existants.

Les investigations en laboratoire visant à élucider les effets d'irritation générale ou locale dus aux polluants atmosphériques sont destinées avant tout à nous fournir de meilleures techniques pour découvrir les modifications physiologiques des sujets. Elles ont pour deuxième objet de nous procurer des renseignements sur les mécanismes d'action des agents nocifs. Une partie des investigations de laboratoire est consacrée à l'étude de l'effet « in vitro » de polluants isolés ou de groupes de polluants sur les systèmes enzymatiques de l'organisme. Une autre partie porte sur les effets de ces agents nocifs sur les cultures de tissus, par observation de la croissance, de la multiplication et du métabolisme des cellules. D'autres laboratoires étudient, sur des animaux appropriés intacts, les effets de polluants atmosphériques connus ou soupçonnés, tels que l'ozone et d'autres oxydants, les oxydes de soufre, les sulfures organiques, les composés phéniques et les nitro-oléfinés. Certains travaux minutieux ont pour but d'évaluer le pouvoir cancérogène des polluants de l'air des villes. Cette activité de laboratoires n'ayant été entreprise que depuis peu, il est encore trop tôt pour en examiner les résultats.

3) EFFETS GENERAUX

Si nous envisageons maintenant les effets généraux de la pollution atmosphérique sur la santé, nous trouvons, parmi les agents capables de provoquer ces effets, les substances suivantes qui sont des polluants : béryllium et ses dérivés, dérivés du manganèse, monoxyde de carbone, fluorures, isotopes radio-actifs, aéro-allergènes, produits cancérogènes et insecticides.

BERYLLIUM

Peu après la publication des premiers rapports signalant l'existence d'une maladie chronique pulmonaire spécifique (granulomatoses pulmonaire chronique) chez des sujets qui avaient été exposés au béryllium et à ses dérivés pendant leur travail, même de longues années auparavant, il a été signalé que quelques habitants des environs des usines étaient atteints de la même maladie, bien qu'eux-mêmes ni aucun des membres de leur famille n'aient été en rapport avec les usines. Certes les habitants s'étaient déjà plaints d'avoir à subir de mauvaises odeurs et de souffrir d'une irritation locale des membranes superficielles exposées (yeux, nez, gorge et arbre trachéo-bronchique), par suite des émissions d'effluents gazeux par les installations industrielles ; mais c'est la première fois aux États-Unis, qu'une maladie, caractéristique et « spécifique », fût imputée à des polluants atmosphériques industriels, chez des sujets ne participant pas directement aux opérations d'une usine. Parmi les sources des dérivés du béryllium qui contaminaient l'air des villes, même en quantité minime, figuraient les usines d'extraction du métal à partir du minerai et les installations de traitement des composés du béryllium qui servent à la fabrication des tubes d'éclairage par fluorescence.

MANGANESE

Antérieurement aux premiers rapports sur les cas de maladies pulmonaires dues aux béryllium, un rapport norvégien avait signalé en 1939 la fréquence anormale des pneumonies parmi les habitants des zones voisines d'une usine de traitement du manganèse. Ce rapport suggérait que l'augmentation des cas de maladies était due à l'inhalation de composés de manganèse, libérés dans l'air ambiant parmi les effluents de l'usine. Un rapport italien plus récent confirme cette relation médicale entre la présence des composés du manganèse dans l'air et les pneumonies. Mais il est difficile de s'assurer du rôle du manganèse dans ce cas, étant donné que les pneumonies observées ressemblent beaucoup, du point de vue clinique, à des affections dont l'agent causal n'était pas le manganèse. Cette difficulté ne se présente pas dans le cas du béryllium, qui provoque une maladie pulmonaire chronique caractérisée par une granulomatoses pulmonaire.

OXYDE DE CARBONE

Le monoxyde de carbone, gaz inodore et incolore, provient essentiellement de la combustion incomplète des substances carbonées : il est connu depuis longtemps comme un agent nocif qui agit en se com-

binant à l'hémoglobine du sang. Il semble donc que l'oxyde de carbone ne soit toxique que par cette combinaison qui diminue la quantité d'hémoglobine capable de s'acquitter de sa fonction normale, transporter l'oxygène. Quand une quantité suffisante d'oxyde de carbone est associée à l'hémoglobine des hématies circulantes, la quantité d'hémoglobine susceptible de se combiner à l'oxygène diminue, ce qui entraîne une diminution de la quantité d'oxygène utilisable par les tissus.

Le danger d'inhalation d'oxyde de carbone, dans certaines circonstances et dans certains métiers, est reconnu depuis longtemps, mais l'opinion est toujours divisée quant au degré de toxicité de ce gaz dans l'air d'une ville. Cette question a pris encore plus d'importance au cours des dernières années, du fait de l'utilisation toujours accrue des automobiles, dont les gaz d'échappement contiennent des quantités appréciables d'oxyde de carbone. Il est rare que les concentrations de ce composé dans les rues d'une ville atteignent ou dépassent 100 p.p.m. : cette quantité est en général considérée dans l'industrie comme la limite supérieure de sécurité pour une exposition continue de huit heures. Il se peut cependant que les taux d'oxyde de carbone atteints dans les rues puissent affecter certaines personnes très sensibles, qui souffrent déjà d'une maladie liée à la diminution de la capacité en oxygène du sang (en cas d'anémie par exemple) ou qui sont atteintes de troubles cardio-respiratoires. Chez elles, la gêne provoquée par la diminution de la capacité en oxygène du sang sous l'influence de l'oxyde de carbone peut entraîner des lésions d'organes vitaux. Les personnes dont le sang contient déjà une quantité variable d'oxyde de carbone, soit parce qu'elles fument, soit parce qu'elles sont exposées à ce gaz au cours de leur travail, peuvent également souffrir particulièrement de la quantité d'oxyde de carbone supplémentaire que leur impose un air contaminé.

Il semble qu'étant donné son caractère de poison relativement non cumulatif et son mode d'action dans l'organisme, l'oxyde de carbone puisse provoquer une intoxication aiguë par exposition à des concentrations élevées, mais pas d'intoxication chronique par une exposition prolongée à des concentrations relativement faibles. Les cas précédemment décrits peuvent être des exceptions : personnes présentant déjà une diminution de la capacité du sang à véhiculer l'oxygène ou sujets atteints de troubles cardio-respiratoires. La controverse a récemment repris pour savoir si ce gaz pouvait ou non provoquer des troubles à la suite d'une exposition continue (ou intermittente) aux faibles concentrations rencontrées dans l'air ambiant. En Europe, des preuves relativement probantes font répondre par l'affirmative. Aux Etats-Unis, cependant, il est généralement admis qu'il n'y a pas d'intoxication chronique par l'oxyde de carbone.

Les dangers de la présence d'oxyde de carbone dans l'air des agglomérations et le fait que l'automobile est l'une des sources de ce gaz font penser aux dangers d'intoxication par le plomb tétraéthyle dont la plupart des essences utilisées comme carburants contiennent des quantités variables, pouvant aller jusqu'à 0,8 ml par litre. Cependant, les recherches faites sur cette contamination de l'air par le plomb ont montré que la quantité de ce métal dans l'air des villes est minime et n'a vraisemblablement aucune importance clinique, surtout par rapport à la quantité de plomb fournie à l'homme par les aliments et l'eau. Il n'est toutefois pas exclu que l'étude prolongée de ce problème en certains points sélectionnés du monde aboutisse à une conclusion opposée.

Une récente étude à ce sujet rapporte les observations intéressantes suivantes :

a) en régime normal, dans les agglomérations, les gaz d'échappement des automobiles ne renferment que 20 à 60 % du plomb utilisé sous forme de plomb tétraéthyle ;

b) dans les gaz d'échappement, ce plomb se trouve sous forme de Pb. Cl. Br. et de complexes de ce composé avec le chlorure d'ammonium ;

c) les dimensions des particules de dérivés du plomb varient de moins de 0,01 μ à plusieurs millimètres, la proportion pondérale des particules les plus fines étant d'environ 5 % ;

d) à vitesse élevée, sur les grandes routes, par exemple, la quantité de dérivés du plomb présents dans les gaz d'échappement est supérieure à la quantité brûlée, l'excès provenant des parois du moteur et du tuyau d'échappement, où le plomb s'est accumulé pendant la période de conduite plus lente en ville.

Le moteur d'automobile produit par ailleurs des polluants atmosphériques autres que l'oxyde de carbone et des composés de plomb. Un rapport consacré à la description de la pollution de l'air à Los Angeles signale qu'il est couramment admis que l'automobile constitue la source principale des précurseurs du smog. C'est-à-dire que les gaz d'échappement des automobiles émettent dans l'air des hydrocarbures et des oxydes d'azote qui, sous l'action de l'énergie solaire, engendrent les produits qui sont à l'origine de l'irritation oculaire et de la brume atmosphérique. Les gaz d'échappement des automobiles produisent également des substances chimiques connues par leur action cancérigène chez l'animal de laboratoire : l'importance de ce fait pour l'homme sera étudiée dans un paragraphe ultérieur.

FLUORURES

Les dérivés du fluor forment un autre groupe de substances spécifiques qui se trouvent dans l'air de certaines villes et qui peuvent influer sur la santé de l'homme. Parmi les fluorures qui parviennent à l'air ambiant figurent des dérivés relativement solubles dans les fluides organiques et des dérivés pratiquement insolubles, depuis l'acide fluorhydrique, très irritant et très corrosif, jusqu'à des substances pratiquement neutres. L'émission des fluorures dans l'air provient principalement de la préparation des engrais artificiels et de la fabrication de l'aluminium et de certains aciers.

Il est évident que ceux des fluorures qui chimiquement sont très actifs sont irritants pour les surfaces exposées de l'organisme (peau et certaines membranes) dès qu'ils atteignent une concentration suffisante dans l'air. Les cas d'exposition à ces produits sont extrêmement rares, mais nous connaissons beaucoup moins bien les effets sur l'homme de ceux des fluorures inhalés qui ne sont pas irritants pour les surfaces organiques et dont l'action, le cas échéant, dépend de leur absorption par le sang dans les poumons ou en d'autres points de l'organisme. L'action des quantités minimales de sels de fluor éventuellement ingérés avec les aliments et l'eau, ou inhalés, pendant la période de l'existence où se développent les dents, n'est pas en rapport avec le problème de la pollution de l'air. Il suffit de noter que ces dents ont moins tendance à se carier. L'importance, cependant, de l'effet des fluorures sur les os et les articulations, à tous les autres moments de l'existence humaine, prête toujours à controverse.

ISOPES RADIOACTIFS

Nous les citons ici dans le cadre de cette énumération, nous les envisagerons dans un chapitre à part.

ALLERGENES

Tous les milieux médicaux ont reconnu que l'air que nous respirons véhicule naturellement des matériaux organiques microscopiques, vivants et morts, solides et liquides, qui agissent comme allergènes. Les tissus humains réagissent à ces allergènes principalement au niveau de la peau et du tractus respiratoire. Au niveau de l'appareil respiratoire, ce sont principalement la muqueuse des cavités nasale et les muscles lisses de bronchiole qui sont affectés. Ces allergènes sont d'origine organique végétale (plantes, levures, moisissures) ou animales (produits de desquamation, poils, plumes). Certaines industries peuvent émettre des allergènes dans l'air des villes : boulangeries, filatures de coton, pelleteries, traitement des poils, soies

et cuirs ; fabriques de tapis, manufactures de chapeaux de feutre, ateliers de préparation des plumes, minoteries, usines de traitement du jute, peausseries, corderies, usines de préparation de l'huile de ricin, fabrique de chaussures, savonneries, menuiseries et usines de traitement du tabac.

Les opérations industrielles interviennent certes dans le problème des allergènes aéroportés, mais dans une proportion relativement faible. Les allergènes aéroportés sont essentiellement d'origine naturelle. C'est dire que les maladies allergiques qu'ils engendrent ne sont pas dues à l'activité humaine et par conséquent sont d'autant plus difficiles à vaincre ; ces substances nocives d'origine naturelle sont chimiquement très complexes, leur poids moléculaire est extrêmement élevé. Dans certains cas d'activité humaine provoquant des réactions allergiques ou des affections qui les rappellent, la structure chimique des agents responsables est relativement simple.

Il a été signalé que le gaz sulfureux provoque une réaction allergique. Il est cependant curieux de noter la rareté de ces cas eu égard au grand nombre de personnes qui peuvent être ou qui sont exposées à ce gaz au cours de leur existence. Le dioxyde de soufre engendre le plus souvent une hyperirritabilité de la muqueuse bronchique qui se manifeste après plusieurs expositions, d'où une augmentation de la réaction normale à des doses relativement faibles du gaz. (Par ailleurs, nous avons déjà signalé que l'inhalation répétée de gaz sulfureux peut également provoquer une résistance apparente à son action irritante). Il existe également une autre éventualité : les micro-organismes, normalement présents dans le tractus respiratoire, trouvent dans la muqueuse lésée par le gaz un excellent milieu de multiplication rapide, celle-ci provoque alors non seulement des infections graves, mais encore une réponse allergique à celles des protéines, provenant des micro-organismes, qui sont absorbées.

Des expériences faites sur l'animal et sur des volontaires ont montré que l'inhalation de faibles concentrations de gaz sulfureux entraîne une constriction spasmodique des bronchioles, qui passe généralement inaperçue en dehors des expériences. Il s'agit en général d'un simple réflexe de réaction à un gaz irritant. Il se pourrait que ce mécanisme ait été à l'origine des décès observés parmi les asthmatiques et les cardiaques lors des épisodes de la vallée de la Meuse et de Donora. Dans ces deux cas, le spasme bronchiolaire a pu aggraver un déficit grave préexistant de l'échange respiratoire gazeux. L'importance chez l'homme de la constriction bronchiolaire, lorsqu'elle n'est pas associée à une maladie cardio-respiratoire préexistante, n'est pas évidente. Le spasme entraîne vraisemblablement une diminution de l'efficacité fonctionnelle des poumons. Cependant, les réserves cardio-respiratoires normales sont telles que le sujet ne remarque pas l'effet

de ce spasme. Le médecin lui-même ne le décèle qu'en utilisant des techniques spéciales.

Les composés du béryllium sont réputés pour provoquer une granulomatose pulmonaire particulière, sorte de réaction d'allergie à leur inhalation. Le cobalt métallique finement divisé est également considéré comme l'un des responsables possibles de ce type de manifestation allergique ; en effet, son inhalation par l'homme provoque une maladie pulmonaire qui, à la radiographie, apparaît analogue à celle qu'induit le béryllium. Mais jusqu'ici aucun cas de maladie pulmonaire due au cobalt n'a été signalé parmi des sujets ne travaillant pas dans l'usine même.

Le colorant commercial des peaux, la paraphénylène - diamine est un allergène capable de provoquer l'asthme bronchique et des dermatoses. En raison de son mode d'utilisation industrielle, ce colorant peut apparaître dans l'air ambiant à l'extérieur des peausseries, mais on n'a connaissance d'aucun cas signalé.

Les usines d'extraction de l'huile de ricin émettent dans l'air une substance poudreuse, qui est un allergène puissant auquel a pu être imputé l'asthme bronchique observé chez des habitants à proximité de ces installations industrielles.

Ces cas sont toutefois assez rares pour que leur importance dans l'étude de la pollution de l'air ne soit que secondaire, mais la très grande probabilité pour que des polluants atmosphériques considérés habituellement comme irritants pour les membranes exposées puissent, dans certaines conditions spéciales, stimuler une réaction allergique chez des personnes sensibles est d'importance primordiale. Tel est également le cas des polluants atmosphériques de grande activité chimique qui peuvent se combiner aux protéines de l'organisme pour former des complexes agissant comme de vrais allergènes. A titre d'illustration il est intéressant de mentionner le syndrome appelé « asthme de Yokohama », entité clinique récemment observée dans la région de Yokohama (Japon) où un certain nombre de personnes ont des crises d'asthme bronchique quand elles sont exposées à l'air pollué par les industries et sont débarrassées de ces crises quand on les en éloigne.

AGENTS CANCERIGENES

Nous savons depuis longtemps que l'exercice de certains métiers déterminés provoque un cancer chez les sujets sensibles ; il est raisonnable d'admettre que les agents étiologiques spécifiques, qu'ils soient chimiques ou physiques, se trouvent également à l'extérieur des lieux de travail, dans l'air des villes, et peuvent aussi toucher d'autres

personnes que les ouvriers. Ces produits cancérigènes ne se trouvent évidemment qu'en faible quantité loin des chantiers ou ateliers.

Cependant, même si on ne les retrouve dans l'air ambiant qu'à des taux très faibles, ils peuvent avoir sur l'homme une action importante, en raison de la permanence de leur présence.

Les substances cancérigènes d'origine industrielle ne sont toutefois pas les seules en cause dans le problème du cancer en rapport avec la pollution de l'air. De nombreux composés proviennent de la combustion incomplète des hydrocarbures et autres produits carbonés : il est rare en effet que la combustion soit complète et ne donne lieu qu'à la formation de gaz carbonique et d'eau. Il a été prouvé que les composés polycycliques se trouvent en quantités importantes, du point de vue biologique, dans les gaz d'échappement des moteurs à combustion interne, Diesel ou essence, lorsque ceux-ci fonctionnent dans certaines conditions.

Heureusement pour l'homme, ces produits cancérigènes ne sont pas très stables et ils sont détruits, à une vitesse variable, par d'autres constituants de l'air et par la lumière solaire. Mais leur toxicité potentielle est indéniable, car ils restent intacts dans l'air assez longtemps pour présenter une certaine importance.

Il a même été signalé que certains composés non cancérigènes de l'air peuvent jouer le rôle d'adjuvants des substances cancérigènes en les transportant vers les tissus sur lesquels celles-ci agiront. Il faut cependant noter la sensibilité très variable des espèces animales aux substances cancérigènes, même parmi les animaux de laboratoire. « Il est donc dangereux d'extrapoler sans réserves à l'homme des conclusions fondées sur des expériences pratiquées sur des animaux » (Hartwell 1951).

Chez les animaux de laboratoire sur lesquels sont essayés les divers produits chimiques cancérigènes, le tissu qui réagit par la formation d'une tumeur maligne peut être localisé dans l'appareil respiratoire ou ailleurs. Compte tenu du fait que des cancers de l'appareil respiratoire ont été provoqués expérimentalement au moyen de ces composés, et de la conviction que ceux-ci sont émis dans l'air en quantités de plus en plus importantes par suite de l'urbanisation et de l'industrialisation, il est digne de remarque que des rapports épidémiologiques récents accusent une augmentation croissante de la fréquence du cancer pulmonaire chez l'homme dans de nombreuses régions du monde, notamment dans les villes industrielles.

L'appareil respiratoire (et notamment le poumon) n'est d'ailleurs pas la seule partie de l'organisme où puisse apparaître le cancer par action de certains polluants atmosphériques. La peau aussi peut

être atteinte, par contact direct avec les substances cancérigènes. On ne sait pas très bien si ces substances, après avoir touché la surface du corps, peuvent être transportées dans le sang circulant et agir sur un tissu de prédilection en un autre point de l'organisme.

INSECTICIDES

L'emploi de pulvérisations et de poudres spéciales pour détruire les insectes nuisibles (et, à un degré moindre d'agents chimiques pour détruire la végétation parasite) est une pratique tolérée dans de nombreux pays. Les insecticides sont généralement dispersés dans l'air pour atteindre les insectes en vol ; dans certains cas les produits actifs n'agissent qu'en se déposant sur des objets fixes, tels que la végétation où ils peuvent entrer en contact avec les insectes. Dans d'autres cas, l'air ambiant est volontairement pollué par un produit connu pour sa nocivité à l'égard des insectes, mais qui peut également être toxique pour l'homme.

L'introduction récente en agriculture de puissants agents organo-phosphorés et d'hydrocarbure chlorés a créé un grave problème de pollution de l'air dans les régions de culture et d'élevage. Parmi les plus connus des insecticides organo-phosphorés, citons le parathion, le TEPP et le malathion ; parmi les hydrocarbures chlorés, le chlordane, le DDT et la dieldrine. Tous ces produits sont toxiques pour l'homme et doivent être utilisés avec précaution. Les insecticides organo-phosphorés peuvent être absorbés en quantités toxiques par la peau, les membranes de l'œil et les poumons. Ils provoquent une inhibition irréversible de la cholinestérase d'où une accumulation de fortes quantités d'acétylcholine dans l'organisme, qui explique la plupart des symptômes observés chez les sujets exposés à ces composés. Les hydrocarbures chlorés n'exercent pas tous les mêmes effets toxiques sur l'homme ; certains s'attaquent au système nerveux central, d'autres à d'autres organes vitaux.

A condition d'être averti des dangers de ces toxiques et de prendre les mesures de contrôle appropriées, on pourrait, dans une certaine mesure, éviter tout accident résultant de cette pollution atmosphérique voulue.

*
* *

Cette étude montre que nous possédons un certain nombre de connaissances concernant les effets de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé de l'homme. Ces connaissances proviennent d'une part de recherches directes sur la pollution de l'air et ses conséquences sanitaires, d'autre part de travaux effectués à d'autres fins. Cette étude met également en évidence que nous manquons de ren-

seignements sur de nombreux aspects des effets sanitaires de la pollution atmosphérique. Il se passera sans doute de nombreuses années avant que toutes les questions qui se posent soient résolues.

II — SEUILS DE NOCIVITÉ

Nous envisagerons successivement, d'une façon très générale :

— la nature des risques, en nous limitant à l'étude sommaire de ceux liés aux agents chimiques de pollution, avec exclusion des agents radioactifs.

— le concept de limites tolérables pour les substances toxiques dans les ambiances professionnelles appliqué aux agents de pollution chimique dans l'air des cités ou des environnements industriels.

A) LA NATURE DES RISQUES

Il convient de distinguer trois catégories de risques :

1) *Risques de toxicité immédiate*, après une faible phase de latence, pouvant résulter de l'exposition, pendant un temps court, à une concentration relativement élevée de polluants.

Ces risques sont beaucoup moins fréquemment rencontrés que dans les ambiances professionnelles et ne s'observent, à vrai dire, que dans des circonstances exceptionnelles, notamment des circonstances météorologiques (inversion de température).

2) *Risques de toxicité à plus ou moins long terme*, pouvant résulter de l'exposition à des substances possédant des propriétés cumulatives, c'est-à-dire susceptibles d'être retenues plus ou moins longtemps dans l'organisme. L'absorption répétée de petites doses de ces substances qui, si leur élimination était suffisamment rapide, serait sans conséquences discernables, provoque, au bout d'un certain temps, dépendant de la grandeur des doses et de la vitesse d'élimination, l'arrivée au seuil de concentration toxique au niveau des récepteurs sensibles.

Il en est ainsi, par exemple, avec les dérivés fluorés pouvant être présents sous forme de produits gazeux ou de poussières. L'anion F s'accumule en effet, en raison de son affinité pour les phosphates de calcium avec formation de fluopatites insolubles, dans les tissus calcifiés (os, dents). Lorsqu'une certaine concentration est atteinte, il provoque ainsi, au niveau de ces tissus, des lésions génératrices de fragilité qui, avec la cachexie et certains troubles endocriniens liés

à une accumulation au niveau d'autres tissus, caractérisent les intoxications chroniques connues sous le nom de fluoroses.

En tenant compte des vitesses d'élimination et des concentrations au niveau des récepteurs sensibles nécessaires à la manifestation des effets toxiques, il est possible de fixer des concentrations pour lesquelles et en deçà desquelles il n'y a pratiquement pas de danger.

3) *Risques d'induction de proliférations malignes pouvant résulter de l'exposition à des substances dites cancérogènes et carcinogènes.*

Les travaux de plusieurs auteurs tendent à montrer que la manifestation de l'activité de ces composés est une fonction, non pas de la fraction des doses absorbées retenue dans l'organisme comme dans le cas de poisons typiquement cumulatifs, mais de la somme totale des doses absorbées, quel que soit leur fractionnement dans le temps et le jeu des éliminations et des destructions métaboliques. Tout se passe comme s'il y avait sommation totale d'effets absolument irréversibles, comme le sont les impressions successives d'une plaque ou d'un film photographique, par exemple.

En conséquence, bien qu'il existe indiscutablement dans le cas des substances cancérogènes comme dans celui des substances toxiques en général, une relation entre les doses absorbées et les réponses obtenues (pourcentage de tumeurs induites ou temps moyen nécessaire pour les provoquer), il est pratiquement impossible, dans l'état actuel de nos connaissances, de fixer, pour des expositions répétées pendant une grande partie de la vie, des doses seuils en deçà desquelles il n'y a plus de danger. En effet, si l'on admet la persistance de l'effet après l'élimination de la substance qui en est responsable (*cessante causa, non cessat effectus*), même des doses infimes peuvent être dangereuses si leur absorption se répète pendant un période suffisamment longue ou si un temps suffisant s'écoule pour leur permettre de manifester leur activité.

Il faut même souligner que, dans le cas des petites doses, plus elles sont fractionnées, plus elles paraissent efficaces.

Le danger est d'autant plus grand que, bien que des phénomènes d'antagonisme aient pu être démontrés entre certaines substances cancérogènes ou potentiellement cancérogènes, on ne peut, à priori, exclure la possibilité d'une sommation des effets d'autres substances cancérogènes auxquelles l'homme peut se trouver exposé dans les conditions de la vie moderne, non seulement du fait de la pollution de l'air, mais encore du fait de la consommation du tabac, de l'absorption de certaines drogues, ou de l'ingestion d'aliments dans lesquels ont été incorporés, volontairement ou accidentellement, certains produits chimiques.

Bien que l'augmentation spectaculaire de la fréquence des morts dues au cancer du poumon au cours des dernières décennies puisse s'expliquer en partie par une amélioration des méthodes de diagnostic, il est aujourd'hui admis qu'elle traduit l'intervention accrue de facteurs de causalité. Parmi ceux-ci il faut souligner l'importance reconnue de la fumée de tabac, ce qui rend difficile l'évaluation exacte de la part réelle qui revient à la pollution de l'air comme facteur de causalité dans l'étiologie du cancer pulmonaire. Soulignons la fréquence plus élevée du cancer pulmonaire dans les zones urbaines que dans les zones rurales, le rapport ville campagne étant très nettement supérieur chez les sujets du sexe masculin.

B) *CONCEPT de limite tolérable appliqué aux polluants chimiques de l'air.*

Le but poursuivi dans l'évaluation des risques est la fixation, pour les divers polluants chimiques de l'air, de limites de concentration tolérables. L'adjectif « tolérables » signifie que l'exposition courte ou prolongée à de telles concentrations ne doit pas être susceptible de provoquer l'apparition d'effets nocifs. La concentration d'un agent chimique dans l'air respiré par la population est, de toute évidence, un facteur prépondérant à cet égard, car, d'après la notion bien établie des relations entre les doses et les effets, cette concentration conditionne les risques d'imprégnation toxique.

Il ne faut cependant pas oublier que d'autres facteurs que la concentration dans le milieu ambiant sont importants à considérer pour la détermination des phénomènes toxiques, notamment les conditions d'absorption et d'élimination et, en ce qui concerne la concentration dans l'air et les conditions d'absorption, les variations individuelle de sensibilité aux produits toxiques absorbés.

Les conditions d'absorption et d'élimination peuvent varier dans une large mesure en fonction de divers paramètres tenant :

— soit aux sujets, dont par exemple le rythme respiratoire peut être accru par un entraînement progressif au travail ou aux épreuves sportives, avec comme conséquence une captation accrue des produits éventuellement toxiques ou dont le fonctionnement rénal est imparfait avec, comme conséquence, une diminution du pouvoir d'excrétion ;

— soit à l'état du toxique, surtout dans le cas des poussières ou des particules dont les dimensions conditionnent les possibilités de pénétration plus ou moins profonde dans les ramifications de l'arbre pulmonaire ;

— soit à la présence de produits associés pouvant favoriser l'absorption (solvants, agents suractifs, etc...)

Pour toutes ces raisons, de même que dans le cas des expositions professionnelles, un grand intérêt s'attache à la détermination quantitative des polluants étudiés dans l'organisme même des sujets exposés avec, comme objectif, la fixation de limites tolérables dans les milieux biologiques, notion qui complète celle de limites tolérables dans l'air.

Mais, même en mettant à part les réactions d'intolérance congénitale ou acquise et les hypersensibilités liées à certains états physiologiques (grossesse par exemple) ou pathologiques (déficiences rénales, hépatiques, endocriniennes, perturbations du système nerveux volontaire ou autonome) il faut également tenir compte des variations de sensibilité individuelle liées :

- soit à des conditions physiologiques (âge, sexe, race, tempérament, état hormonal, nature de l'alimentation, fatigue, chocs émotionnels) ;

- soit au plus ou moins haut degré d'activité fonctionnelle des organes intervenant dans les détoxications ou l'élimination ;

- soit dans l'imprégnation éthylique, très importante à considérer, en raison de son influence sensibilisante aux effets de nombreux toxiques.

Il faut enfin se souvenir que certains produits associés peuvent être à l'origine de phénomènes d'antagonisme ou de synergie.

Ces remarques montrent que les chiffres recommandés dans les cas des substances toxiques comme limites de concentration tolérables ne doivent pas être considérés comme des lignes de démarcation tranchées entre les concentrations inoffensives et les concentrations dangereuses. Ils ne sauraient, par suite, avoir une valeur absolue et sont seulement destinés à servir de guides.

Sur le plan analytique, un problème pratique d'une grande importance est celui des variations inévitables de concentration dans l'espace et dans le temps. Il en résulte la nécessité de répartir, de façon adéquate, les points et les moments de prélèvements, de manière à connaître la concentration moyenne de la substance considérée à laquelle peuvent être exposées les populations. Il ne faut cependant pas trop négliger les concentrations de pointe, car dans le cas des substances dont les effets sont avant tout des effets de toxicité immédiate, elles doivent être prises en considération, en prévision d'épisodes aigus de pollution. Il convient alors de fixer, en dehors des concentrations moyennes tolérables, des concentrations qui ne doivent pas être dépassées, même pour des expositions de courte durée.

C'est sur la base de tels principes généraux qu'ont été dressées dans divers pays et particulièrement aux Etats-Unis, des listes de limites tolérables pour les principaux toxiques industriels.

A titre d'exemple, il nous paraît utile d'indiquer ici les chiffres concernant les composés pouvant contribuer à la pollution chimique de l'air, en soulignant bien que ces chiffres concernent les expositions professionnelles (Truhaut 1964).

	(mg/m ³)
Oxyde de carbone	110
Hydrocarbures aliphatiques (essence utilisées comme carburants) ..	2,000
Formaldéhyde	6
Plomb	0,2
Acide fluorhydrique	2
Ozone	0,2
Hydrogène sulfuré	30
Anhydride sulfureux	13
Ammoniac	70
Peroxyde d'azote	9
Poussières de fluorures	2,5
Acide sulfurique	1
Béryllium (oxydes et sels)	0,002

Pour la population en général, les sujets sont le plus souvent exposés de façon non pas discontinue (6 à 8 heures par jour, 5 ou 6 jours par semaine) offrant des possibilités de récupération comme dans les ambiances de travail, mais de façon relativement continue. En outre, alors que les ouvriers sont presque toujours des adultes soumis à des visites d'embauche et à un contrôle médical périodique permettant d'exclure les sujets en mauvaise condition physique, la population générale comporte non seulement des adultes bien portants, mais encore des enfants, des vieillards, des malades et des sujets porteurs d'affections non apparentes qui peuvent être beaucoup plus sensibles.

III — RETENTISSEMENT SUR L'ORGANISME

Les polluants atmosphériques peuvent avoir une action sur les téguments, sur les muqueuses, sur les voies respiratoires et, par l'alvéole pulmonaire, sur l'organisme.

Nous étudierons ici les effets des contaminants en général, c'est-à-dire ceux auxquels peut être soumise toute la population pendant un temps indéterminé.

Nous excluons l'étude des broncho-pneumopathies professionnelles et les intoxications par certains gaz comme l'oxyde de carbone qui n'entraînent pas d'affections pulmonaires.

Il est commode de distinguer deux types de manifestations pathologiques : *les manifestations aiguës*, observées à la suite d'une émission toxique accidentelle ou à l'occasion de conditions météorologiques augmentant brutalement la teneur de l'atmosphère en polluants dangereux, et qui prennent volontiers une allure collective ; *les manifestations chroniques* qui seules nous permettent d'apprécier les méthodes statistiques, établissant des corrélations entre les indices de pollution et la fréquence de certaines affections de l'appareil respiratoire.

Nous parlerons ensuite de la pollution microbienne et de ses effets, parmi les autres affections engendrées par la pollution atmosphérique.

A) *LES MANIFESTATIONS BRONCHO-PULMONAIRES AIGUES LIEES A LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE.*

Les affections broncho-pulmonaires aiguës liées à la pollution atmosphérique peuvent être classées, schématiquement, sous trois rubriques :

- 1) Les affections respiratoires aiguës observées au cours des grandes catastrophes collectives.
- 2) Les broncho-pneumopathies aiguës des insuffisants respiratoires chroniques.
- 3) Les crises d'asthme.

I — *LES AFFECTIONS RESPIRATOIRES AIGUES OBSERVEES AU COURS DES GRANDES CATASTROPHES COLLECTIVES.*

VALLEE DE LA MEUSE (1930)

Entre Seraing et Huy, la Vallée de la Meuse est étroite, sur une vingtaine de kilomètres elle est bordée de chaque côté par des collines d'environ 90 mètres et on y trouve, le long de la rivière, des hauts-fourneaux, des aciéries, des fours à coke, des verreries, des fonderies de zinc, des usines chimiques.

Pendant la semaine qui débuta le lundi 1^{er} décembre 1930, sous le fait d'une inversion thermique, le brouillard resta stagnant dans la vallée, empêchant la dispersion de tous les polluants émis par l'industrie, la circulation routière et ferroviaire.

Le mercredi, de nombreuses personnes étaient malades, se plaignant d'irritation des voies aériennes supérieures, de gêne respiratoire, et avant la fin de la semaine, 60 personnes étaient mortes dans un tableau d'insuffisance respiratoire. Evidemment, les gens âgés souffrant antérieurement d'affection respiratoire ou cardiaque payèrent le plus lourd tribut, mais il y a lieu de noter que furent atteintes des personnes de tous âges.

Le nombre de décès était de dix fois supérieur à celui prévu par les statistiques à la même époque, en circonstances ordinaires.

Au point de vue clinique, on notait une irritation des muqueuses respiratoires en particulier, avec douleurs thoraciques, dyspnée, toux, irritation nasale et oculaire.

L'autopsie révélait simplement une congestion de la trachée, des grosses bronches et, dans les poumons, de nombreux histiocytes chargés de particules noirâtres.

Après avoir longtemps discuté de l'étiologie, on a admis que l'anhydride sulfureux était responsable, la concentration étant à l'époque incriminée de 25 à 100 mg par mètre cube (soit 9,6 à 38,4 p.p.m.), ce qui donne théoriquement, après oxydation complète du SO₂, une concentration en acide sulfurique de 152 mg par mètre cube.

Ultérieurement, on a incriminé l'acide fluorhydrique, il est probable qu'il y eut action de plusieurs polluants comme cela s'est produit dans d'autres incidents du même genre.

Il est logique de retenir l'action du SO₂, qui, lorsqu'il est dissous ou combiné avec les aérosols hydriques, s'oxyde en acide sulfurique et les particules sont suffisamment ténues pour atteindre les alvéoles pulmonaires.

On a admis que les oxydes d'azote avaient favorisé la transformation du bioxyde de soufre en trioxyde et que les particules d'oxydes métalliques en suspension dans l'air avaient pu servir de catalyseurs et accéléré les réactions chimiques.

DONORA (1948)

L'incident de Donora s'est produit dans les mêmes conditions.

La ville de 15.000 habitants est située à une quarantaine de kilomètres de Pittsburg, dans une boucle en fer à cheval de la rivière Monongahela, affluent de l'Ohio. La vallée est encaissée entre les collines d'une centaine de mètres, à 10 % de pente. On y trouve, parmi d'autres usines, une fonderie de zinc, une usine produisant l'acide sulfurique et une grande aciérie.

Le mardi 26 octobre 1948, un brouillard dense enveloppa la vallée, il n'y avait aucun mouvement d'air et, par suite d'une inversion de la température, le brouillard resta collé au sol. Il en fut de même le lendemain où on ne pouvait plus se voir d'un trottoir à l'autre, le brouillard ou plutôt le smog, mélange de fumée et de brouillard, avait une odeur acide et un goût douceâtre.

Dès ce mercredi, deuxième jour, 43 % de la population présentèrent des symptômes plus ou moins marqués : toux, irritation des muqueuses oculaires, nasales et respiratoires. La majorité des gens se plaignait de constriction thoracique, de nausées, de céphalées. Il y eut 17 morts, la plupart survenant le troisième jour ; la moyenne d'âge était de 65 ans. L'autopsie ne révéla également que des signes d'irritation des voies respiratoires, sans lésions spécifiques. Cependant, sur trois sujets, on a mentionné des hémorragies, de l'œdème, des phénomènes de bronchite et de bronchiolite purulente. Là aussi, les sujets présentant antérieurement des affections cardio-respiratoires furent parmi les premières victimes.

SYMPTOMES	%
Toux	33,1
non productive	20,2
productive	12,9
Mal de gorge	23,1
Oppression thoracique	21,5
Céphalée	17,0
Dyspnée sans orthopnée	12,9
Brûlures oculaires	12,3
Orthopnée	8,4
Larmolement	8,0
Vomissements	7,4
Nausées sans vomissements	7,1
Écoulement nasal	6,6
Fièvre	2,6
Suffocation	2,3
Courbature	1,9
Asthénie	1,8
Cyanose	1,0
Diarrhée	0,1

TABLEAU I : Symptômes provoqués par la pollution atmosphérique à Donora, rangés par ordre de fréquence décroissante, tous âges.

■
* *

On a calculé que le taux d'anhydride sulfureux au moment de l'épisode variait de 0.5 à 2 p.p.m. Les recherches concernant le fluor furent négatives.

Le samedi, c'est-à-dire le cinquième jour, le brouillard était aussi dense, mais les organisations médicales ne furent plus alertées. La nature physique du brouillard avait varié, il était alors en gouttelettes et non plus en aérosols et ces gouttelettes ne dépassaient pas les voies aériennes supérieures.

Des enquêtes conduites en 1952 et 1957 ont montré un taux plus élevé de mortalité et de morbidité chez les sujets qui avaient été atteints en 1948, c'est dire que ces intoxications subaiguës sont d'un pronostic plus réservé que celui des intoxications aiguës.

LONDRES (1952)

Du 5 au 9 décembre 1952, de nombreuses régions des îles britanniques furent enveloppées dans un brouillard associé à des conditions météorologiques anticycloniques et à une inversion de température. La large vallée de la Tamise, et surtout Londres, fut fortement touchée par cette anomalie météorologique, à laquelle fut associée une fréquence exceptionnelle de maladies et de décès.

Moins de douze heures environ après l'apparition d'un brouillard dense et le début d'une accumulation de polluants atmosphériques, de nombreux habitants du Grand Londres présentèrent des symptômes d'atteintes de l'appareil respiratoire. Les symptômes de la maladie étaient les suivants : toux relativement peu productive, écoulement nasal, maux de gorge et accès soudains de vomissements. Les malades les plus atteints furent ceux qui avaient présenté auparavant des troubles des voies respiratoires : bronchite chronique, asthme, bronchiectasie ou une des formes de fibrose pulmonaire. Le début de la maladie était généralement brutal ; la plupart des cas les plus graves apparurent le troisième jour ou le quatrième jour du brouillard. Les malades les plus atteints présentèrent, outre les symptômes indiqués ci-dessus, les signes suivants : dyspnée, cyanose, fièvre légère et râles bronchiques indiquant un bronchospasme. Les antispasmodiques furent assez efficaces dans certains cas.

CAUSE DU DECES	Semaine précédant l'épisode (A)	Semaine comprenant l'épisode (B)	Rapport (C)	Semaine suivant l'épisode B/A	Rapport C/A
Tuberculose des voies respiratoires	14	77	5,5	37	2,6
Cancer pulmonaire	45	69	1,5	32	0,7
Pneumonie	45	168	3,7	125	2,8

CAUSE DU DECES	Semaine précédant l'épisode (A)	Semaine comprenant l'épisode (C)	Rapport (B)	Semaine suivant l'épisode B/A	Rapport C/A
Bronchite	76	704	9,3	396	5,2
Grippe	2	24	12,0	9	4,5
Autre maladie respira- toire	9	52	5,8	21	2,3
Coronarite	118	281	2,4	152	1,3
Dégénérescence myocardique	88	244	2,8	131	1,5
Suicide	10	10	1,0	7	0,7

TABLEAU II : Nombre et rapport des décès à Londres, selon l'origine, pour la semaine précédant l'épisode, la semaine comprenant l'épisode et la semaine suivant l'épisode.

*
**

La plupart des décès étaient dus à la bronchite, la broncho-pneumonie ou la défaillance cardiaque. L'examen nécropsique n'a jamais révélé qu'une irritation des voies respiratoires, sans lésions caractéristiques en dehors des cas de bronchite ou de broncho-pneumonie. La forme de la maladie paraissait dépendre du sexe et de l'âge : les hommes furent touchés en plus forte proportion que les femmes ; la plupart des malades avaient plus de 45 ans.

AGE	Semaine précé- dant l'épisode (A)	Semaine compren- nant l'épisode (B)	Rapport B/A
Tous âges	945	2.484	2,6
Moins de 4 semaines	16	28	1,8
4 semaines à 1 an	12	26	2,2
1 à 14 ans	10	13	1,3
15 à 44 ans	61	99	1,6
45 à 64 ans	237	652	2,8
65 à 74 ans	254	717	2,8
75 ans et plus	355	949	2,7

TABLEAU III : Décès enregistrés à Londres, par groupe d'âge ; comparaison entre la semaine précédant l'épisode de 1952 et la semaine comprenant l'épisode.

Bien que les informations sur la morbidité soient incomplètes, on a pu estimer que l'augmentation de la morbidité n'était pas proportionnelle à celle de la mortalité. Les registres de mortalité montrent qu'en 15 jours (la semaine de l'épisode et la semaine suivante) il y eut à Londres 4.000 décès de plus que dans une période analogue au cours des années précédentes : ces décès ont été imputés au brouillard ; l'augmentation de fréquence des décès a commencé le premier jour de l'épisode. Le centre de la capitale fut plus touché que la périphérie.

Une corrélation fut établie entre la fréquence des maladies et des décès pendant l'épisode de Londres et la teneur de l'air en fumées et gaz sulfureux, dont 60 % parurent attribuables aux foyers domestiques.

Les concentrations en fumées pendant la période de brouillard furent cinq fois plus fortes qu'en temps normal. La moyenne générale de la concentration dans l'air de gaz sulfureux pendant l'épisode fut de 0,7 p.p.m., soit six fois le taux habituel. Tous les facteurs susceptibles d'avoir provoqué des maladies et des décès durant cette période ont été pris en considération. Les facteurs les plus plausibles sont : le brouillard, le froid qui a sévi, les composés oxygénés du soufre et les particules solides de la fumée de charbon.

Des épisodes semblables de pollution atmosphérique, mais sans doute moins graves, s'étaient déjà produits à Londres avant 1952. Avant cet accident, on avait observé une augmentation importante de la mortalité pendant les périodes suivantes de brouillard important : 1873, 1880, 1882, 1891, 1892 et 1918. L'épisode de 1918 a été marqué par un excédent de 300 décès par rapport à la normale. Un épisode plus récent, pendant l'hiver 1956, a provoqué un excédent de 1.000 décès.

NEW YORK (1953)

Une masse de haute pression associée à une inversion de température a siégé sur la ville de New-York du 12 au 21 novembre 1953. La pollution atmosphérique mesurée par la quantité de fumées et la concentration en SO₂ fut particulièrement marquée les 17 et 18 novembre, les chiffres ne revenant à la normale que le 22.

Les statistiques de mortalité ont indiqué 244 décès journaliers pendant cette période en 1953, alors que le nombre était de 218 de 1950 à 1952 et de 227 de 1954 à 1956, soit donc une différence significative. Ces décès étaient répartis sur tous les groupes d'âge. Le rapport n'indique pas les causes de mortalité, il mentionne que les sujets se plaignaient d'irritation oculaire et de toux.

En dehors des lésions d'œdème aigu consécutives à des concentrations importantes, l'anhydride sulfureux produit toujours une constriction bronchique dont l'importance varie avec la concentration. Ainsi, 25 p.p.m. de gaz sulfureux causent une augmentation de la résistance de 25 %. Par ailleurs, il diminue l'activité ciliaire de la trachée.

Pour Cross et collaborateurs, l'œdème pulmonaire serait la conséquence d'un processus autocatalytique. Chez des rats pneumoconiotiques, ils déclenchent l'œdème pulmonaire par l'alpha-naphtyl-thiourée et remarquent que l'œdème intra-alvéolaire prédomine autour des foyers pneumoconiotiques. Il en serait de même lors de l'abaissement de la réserve ventilatoire par exemple, par suite de l'inhalation de brouillard, de fumées industrielles.

POZA-RICA (1950)

Dans la littérature on trouve l'incident de Poza-Rica, classé parmi les désastres du genre Londres ou Donora. A notre avis, il s'agit là d'un accident à classer parmi les pollutions accidentelles dont l'effet est, heureusement, fort temporaire et en partie influencé par la météorologie.

Poza-Rica est une ville du Mexique, située près de la côte du golfe du Mexique et peuplée d'environ 22.000 habitants ; elle possède une raffinerie de pétrole et une installation de traitement du gaz naturel. Le 24 novembre 1950, elle fut gravement touchée par une émission accidentelle d'hydrogène sulfuré qui provoqua 320 cas de maladie et 22 décès. L'épisode fut déclenché par une erreur de manœuvre des machines dans l'usine de traitement du gaz naturel, entraînant l'émission et la dispersion d'une grande quantité d'hydrogène sulfuré au-dessus de la partie résidentielle de la ville. La situation fut aggravée par une inversion de la température associée à un mouvement horizontal de l'air, faible.

De 10 à 20 minutes après le début de l'émission, le gaz atteignit les habitants, provoquant de graves affections. L'émission de gaz fut arrêtée au bout de 20 à 25 minutes. C'est pendant cette période très courte que les symptômes apparurent et que les décès se produisirent.

Les effets du gaz furent caractéristiques d'une inhalation d'hydrogène sulfuré. Les symptômes étaient, notamment, les suivants : anosmie, toux, dyspnée, conjonctivite, nausées et vomissements, céphalée violente et vertiges. Quatre survivants présentèrent des séquelles d'origine nerveuse, et deux d'entre eux une névrite du nerf acoustique. Des deux autres, l'un présenta une dysarthrie due à l'atteinte

neurologique de la langue et l'autre une aggravation d'une épilepsie pré-existante. Le poison frappa des personnes de tous âges et des deux sexes. Le rapport publié sur cet accident ne permet pas une analyse plus complète de la distribution en fonction de l'âge et du sexe.

La seule autopsie pratiquée met en évidence des signes non spécifiques, caractéristiques d'un empoisonnement aigu par l'un des nombreux gaz très toxique : congestion et hémorragie des poumons, avec léger œdème, hémorragies ponctuées dans le cerveau.

Des accidents de ce genre ne sont pas rares. Un des derniers de la littérature américaine concerne la fuite de 22.000 litres de chlore liquide formant un nuage couvrant un secteur rural de 15 kilomètres carrés, avec, pendant une heure, une concentration de 400 p.p.m.

Cent personnes furent plus ou moins atteintes et, parmi elles, quinze furent hospitalisées, dont dix cas d'œdème pulmonaire avec une issue fatale.

Chez les sujets atteints, on notait à la radiographie, aux 3^e et 4^e jours, une nodulation miliare fine, bilatérale, symétrique avec disparition complète des images au 10^e, 12^e jour.

LOS ANGELES

Malheureusement pour les quatre millions d'habitants de la région de Los Angelès, dont près de trois millions dans la ville même, le brouillard n'est pas exceptionnel.

Il est constant pendant l'été et le début de l'automne.

Il provoque une irritation des yeux, du nez, de la gorge. On n'a pas noté de relation entre les admissions dans les hôpitaux pour affections pulmonaires et cardiaques et les périodes de brouillard, ou plus exactement de smog. Du reste, les concentrations en anhydride sulfureux varient entre 0,05 p.p.m. les jours de bonne visibilité à 0,3 p.p.m. les jours de brouillard. Les autres polluants (oxydes d'azote, aldéhydes, cétones, hydrocarbures chlorés, ozone, acroléine, nitro-aléfines, etc.) ne paraissent pas en concentration suffisante pour entraîner des lésions pulmonaires aiguës ou chroniques et l'attention s'est localisée sur les affections oculaires.

Cependant, quand on prend connaissance des statistiques du journal « Air Pollution », on constate certaines augmentations très nettes de la mortalité en rapport avec la densité du smog, et surtout avec sa persistance sur plusieurs jours.

Alors que le brouillard de Londres est réducteur et, de ce fait, irritant bronchique, celui de Los Angelès est oxydant et son effet

se fait sentir surtout sur les yeux. La nature de ces brouillards est différente, car celui de Los Angeles est consécutif à la combustion d'hydrocarbures seulement, alors que celui de Londres provient à la fois de celle du charbon et d'hydrocarbures. La pollution atmosphérique est importante dans les deux villes.

DISCUSSION

L'étude comparative des quelques accidents bien connus permet de conclure qu'ils ne répondent pas à un seul schéma.

On constate cependant quelques analogies frappantes entre les trois épisodes sur lesquels nous sommes documentés : Vallée de la Meuse, Donora et Londres (voir le tableau IV). (Nous laisserons de côté l'accident de Poza-Rica et le smog de Los Angeles, qui diffèrent totalement des autres épisodes).

Les épisodes de la vallée de la Meuse et de Donora se ressemblent beaucoup ; celui de Londres est proche des deux autres, notamment par des conditions météorologiques identiques, mais il en diffère par plusieurs points intéressants.

En premier lieu, les conditions de relief ne sont pas les mêmes : les agglomérations de la vallée de la Meuse et de la ville de Donora sont situées dans des vallées profondes. Londres est implantée dans une plaine en pente douce.

En second lieu, dans la vallée de la Meuse et à Donora, la seule source importante de pollution atmosphérique est l'industrie lourde : aciéries et usine de réduction du zinc ; à Londres, les sources industrielles sont moins importantes, l'utilisation du charbon dans les foyers domestiques représente la source principale.

En troisième lieu, les maladies observées présentent des similitudes et des différences. Dans les trois épisodes on constate une irritation chimique des yeux, du nez, de la gorge et de l'appareil respiratoire ; cette irritation de l'appareil respiratoire entraîne des troubles cardiaques chez les sujets sensibles. Mais il faut noter deux différences importantes entre les effets constatés à Londres, d'une part et dans la vallée de la Meuse et à Donora, d'autre part : a) période d'apparition des décès et b) rapport entre le nombre des malades et le nombre des décès.

Dans la vallée de la Meuse et à Donora, les premiers décès sont survenus au bout de deux jours de pollution.

A Londres, les premiers décès sont survenus le premier jour, et même au cours des 12 premières heures. Cette différence est peut-être due, entre autres raisons, à une accumulation des polluants de l'air, plus rapide à Londres que dans les deux autres endroits ; elle peut aussi s'expliquer par une plus grande sensibilité des habitants de Londres.

En ce qui concerne le rapport entre le nombre de malades et celui des décès, il faut noter que, si l'on considère le nombre total des malades pendant l'épisode de Donora, la proportion de la fréquence des cas de maladie par rapport aux décès est environ de 300/1. En ne prenant en considération que les cas très graves, la proportion tombe à 75 : 1.

Dans le cas de l'accident de la vallée de la Meuse, les données ne permettent pas d'évaluer ce rapport, car si le nombre de décès est connu, les données numériques sur la fréquence de la maladie ne sont pas indiquées. Les autorités compétentes remarquent, pour l'épisode survenu à Londres en 1952, que l'augmentation de la morbidité n'a pas été aussi importante qu'une telle mortalité aurait pu le faire prévoir.

Quelques différences importantes sont notées dans les rapports d'autopsie. Les très rares autopsies pratiquées à Donora indiquent que les modifications de l'appareil respiratoire ne dépassaient pas les bronches terminales et les bronchioles.

Les autopsies pratiquées à Londres et dans la vallée de la Meuse montrent des lésions inflammatoires de tout l'arbre trachéobronchique et du parenchyme pulmonaire.

Il apparaît donc que les épisodes de la vallée de la Meuse et de Donora présentent de nombreux points communs, et qu'ils diffèrent grandement de l'épisode londonien. De plus, alors que les deux premiers événements sont associés à l'émission d'effluents spécifiques par des usines, l'épisode de Londres est caractérisé par l'émission de polluants provenant du chauffage domestique au charbon. Dans cet épisode, les polluants de l'air, du point de vue de leurs effets sur l'homme, ressemblent beaucoup à ceux qui se retrouvent dans l'air de nombreuses grandes villes, surtout par leur action irritante sur les membranes exposées (yeux, nez, gorge et tractus respiratoire). Par exemple, la pollution de l'air de Los Angeles est chimiquement différente de celle de Londres ; mais les deux pollutions se ressemblent par leurs effets sur l'homme : l'irritation des membranes exposées.

	Vallée de la MEUSE 1930	DONORA 1948	LONDRES 1952
Conditions atmosphériques	Anticyclone Inversion et Brouillard	Anticyclone Inversion et Brouillard	Anticyclone Inversion et Brouillard
Topographie	Vallée	Vallée	Plaine
Source de polluants la plus probable	Industrie (dont aciéries et usines à zinc	Industrie (dont aciéries et usines à zinc	Utilisation domestique du charbon
Nature de la maladie	Irritation chimique des muqueuses exposées	Irritation chimique des muqueuses exposées	Irritation chimique des muqueuses exposées
Décès parmi les sujets préalable- ment atteints de troubles cardio- respiratoires	Oui	Oui	Oui
Epoque des décès	A partir du 3 ^{me} jour de l'épisode	A partir du 3 ^{me} jour de l'épisode	A partir du 1 ^{er} jour de l'épisode
Rapport du nombre de mala- dies au nombre de décès	Inconnu	75 : 1 à 300/1	Le nombre de malades ne présente pas le rapport prévu avec le nombre de décès
Résultats des autopsies	Lésions inflam- matoires des poumons attei- gnant le parenchyme	Lésions inflam- matoires des poumons respec- tant le parenchyme	Lésions inflam- matoires des poumons attei- gnant le parenchyme
Cause supposée de l'irritation	Composés oxy- génés du soufre et matières particulaires	Composés oxy- génés du soufre et matières particulaires	Composés oxy- génés du soufre et matières particulaires

TABLEAU IV : Comparaison entre les trois principaux accidents de pollution atmosphérique (vallée de la Meuse, Donora, Londres).

2. - LES BRONCHOPNEUMOPATHIES AIGUES DES INSUFFISANTS RESPIRATOIRES CHRONIQUES

Tous les cliniciens, surtout ceux exerçant dans des zones industrielles au climat froid et humide, savent que, chaque hiver, les bronchitiques chroniques, les emphysémateux, les insuffisants respiratoires chroniques en général, paient un lourd tribut aux affections bronchopulmonaires aiguës, et que bon nombre d'entre eux présentent à cette occasion de grandes détresses respiratoires pouvant entraîner leur mort.

Ces épisodes aigus sont toujours plus fréquents en période de brouillard, et des enquêtes très précises ont montré qu'il existait une corrélation étroite entre la pollution atmosphérique et la mortalité chez les insuffisants respiratoires chroniques.

Le mécanisme des troubles respiratoires observés dans ces circonstances est complexe. Habituellement, il s'agit d'une infection microbienne bronchique, parfois favorisée par une infection virale antérieure, grippale par exemple, qui compromet brutalement un équilibre fonctionnel précaire. De plus, le polluant peut exercer une action bronchospastique nette chez les bronchitiques chroniques, alors que les sujets normaux ne sont peu ou pas affectés, comme l'ont montré de vastes enquêtes basées sur l'exploration fonctionnelle des collectivités. Enfin, certains polluants atmosphériques dont la nature n'est pas parfaitement déterminée sont capables de provoquer à eux seuls une bronchiolite, sans caractère infectieux à l'examen anatomique.

3. - LES CRISES D'ASTHME

Les asthmatiques sont particulièrement sensibles à la pollution atmosphérique et particulièrement à la teneur de l'air en SO₂.

C'est ainsi que Schoettlin et Landau ont pu démontrer que les malades atteints d'asthme bronchique présentaient des crises plus fréquentes en période de forte pollution aérienne. Une étude rigoureuse menée à Nashville par Prindle et Landau établit une corrélation entre la fréquence des crises et la concentration de l'atmosphère en anhydride sulfureux : chez les 84 malades régulièrement suivis par ces auteurs, les crises ont été deux fois plus fréquentes quand la teneur de l'atmosphère en SO₂ passait de 0,005 à 0,012 p.p.m. La corrélation ainsi constatée chez l'adulte n'a cependant pas été retrouvée chez l'enfant.

Il faut rapprocher de ces faits l'asthme de Yokohama, observé par Huber en 1946, parmi les troupes américaines stationnées au

Japon : les cas d'asthme apparaissent l'hiver et guérissent lorsque les malades quittent les plaines où sévit le smog.

Les polluants atmosphériques peuvent également être à l'origine de sensibilisation spécifique. Les asthmes au ricin, décrits par Charpin dans la région marseillaise, en sont le meilleur exemple : lorsque l'on reporte sur une carte l'emplacement des usines travaillant le ricin, et les cas d'allergie à cette graine, on constate que ces derniers sont répartis selon une longue traînée étalée du Nord-Ouest vers le Sud-Est, suivant grossièrement la direction du vent dominant, le mistral.

Les pollens et les spores de moisissures peuvent également être en cause. Ce sont des polluants saisonniers qui peuvent parcourir des distances considérables, atteignant parfois 1.000 kilomètres. Leur détection est aujourd'hui possible grâce à des appareils « pièges », de type gravimétrique ou de type volumétrique, que Charpin a utilisés dans plusieurs régions de France pour établir un calendrier de pollinisation.

On conçoit l'intérêt de telles recherches, qui permettent de prévoir, chronologiquement, les périodes de pollinoses et de mettre en œuvre les traitements désensibilisants nécessaires pour éviter les manifestations cliniques si désagréables qui caractérisent ces affections.

B) BRONCHO-PNEUMOPATHIES CHRONIQUES ET POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Lorsque les polluants n'existent qu'à des concentrations faibles, ils sont cependant capables d'exercer à long terme, après des années d'exposition, des désordres notables au niveau des voies respiratoires.

On mesure la difficulté d'établir dans ces cas la responsabilité des divers polluants : l'expérimentation chez l'animal n'est pas réalisable, et l'on ne peut que se baser sur l'étude des indices de morbidité ou de mortalité constatés dans les populations vivant dans les conditions de pollution envisagées. Or, aucun pays d'Europe ne possède actuellement de statistique de morbidité vraiment satisfaisante. Force est alors de recourir aux statistiques hospitalières, aux certificats délivrés aux assurés sociaux, aux statistiques d'absentéisme. C'est ainsi que des études épidémiologiques basées sur la comparaison des indices de morbidité de populations témoins vivant dans des zones non polluées, ont permis d'établir, ces dernières années, des corrélations du plus haut intérêt .

La difficulté de telles enquêtes est encore accentuée par le fait que les deux types d'affections broncho-pulmonaires chroniques qui

entrent dans le cadre de ce chapitre, les bronchites chroniques et l'emphysème d'une part, le cancer bronchique de l'autre, dépendent également de facteurs différents de la pollution : usage du tabac et facteur professionnel notamment, dont il importe de tenir compte dans l'interprétation des faits.

1. - BRONCHITE CHRONIQUE ET EMPHYSEME

La bronchite chronique et l'emphysème constituent l'un des plus importants problèmes de la pneumologie actuelle, tant par la gravité de leur pronostic individuel que par les incidences sociales et économiques qu'ils impliquent.

Le diagnostic de la bronchite chronique a été souvent discuté.

Au XIII^e Congrès international de Médecine du Travail, à New York, en 1960, il a été donné une définition de la bronchite chronique, à savoir : toux durant depuis six mois et produisant au moins une cuillère à thé de crachats par jour.

Dans une collectivité industrielle de Détroit, Coates et Scoll comptent 27 % de bronchitiques chroniques sur 1.341 ouvriers de 40 à 65 ans. Il y a lieu de remarquer que 411 sujets avaient été exposés à la silice, que 145 étaient atteints de pneumoconiose, que 65 % étaient des fumeurs.

Pour Flechter, il ne fait aucun doute qu'il faut imputer aux fumées et aux poussières industrielles la proportion plus élevée de bronchites chroniques dans les villes.

Pour cet auteur, la bronchite chronique est la maladie caractérisée par une toux persistante ou récidivante avec expectoration non due à une affection broncho-pulmonaire localisée et qui est souvent associée à une dyspnée d'effort. Pour lui, la bronchite chronique conduit à l'emphysème progressif qui peut entraîner le décès. 10 % des sujets entre 45 et 64 ans meurent de bronchite compliquée d'emphysème.

Toujours pour Fletcher, la bronchite chronique se rencontre quatre fois plus souvent chez les hommes que chez les femmes (tabac, travail), deux fois plus dans les grandes villes qu'à la campagne (tableau V).

Il existe également des différences dans les classes sociales, cinq fois plus chez les manœuvres que chez les chefs d'entreprises. (Les manœuvres vivent dans les quartiers plus pollués, surpopulation, soins médicaux inappropriés, transmission des infections).

Cause des décès	VILLES de			Secteur rural
	100.000 et >	50.000 à 100.000	< 50.000	
	(Taux par 100.000 habitants)			
Pneumonie	47,90	39,22	35,75	31,55
Bronchite	61,56	53,82	48,77	36,94
Autres affections res- piratoires (à l'except- tion de la grippe....	11,19	9,71	10,60	9,66
TOTAL	120,65	102,15	95,12	78,15

TABLEAU V : Nombre de décès par affections respiratoires dans les secteurs urbains et ruraux.

*
**

La mortalité par bronchite chez les sujets occupés aux opérations poussiéreuses est élevée, mais la mortalité de leurs veuves est également élevée, donc interviennent d'autres facteurs que les facteurs professionnels et en particulier la pollution atmosphérique à laquelle est soumise toute la population.

Dans la région du Nord de la France, les enquêtes de M. Gervois Gernez-Rieux et collaborateurs ont montré que le nombre de cas de bronchite chronique varie avec la densité industrielle.

Nombre annuel de nouveaux cas de bronchite chronique (par 10.000 assurés) :

Région de Lille : 874 habitants au km ²	12,7
Région de Douai : 513 habitants au km ²	12
Région de Valenciennes : 504 habitants au km ²	11,2
Région d'Arras : 112 habitants au km ²	5,9
Région d'Amiens : 74 habitants au km ²	5,7
Région de Laon : 55 habitants au km ²	1,9

Ainsi donc, le nombre de cas de bronchite chronique est plus de six fois plus élevé dans une région industrielle que dans un secteur rural.

Les gaz incriminés — en toutes régions — sont le gaz sulfureux, les oxydes d'azote, l'ozone et, enfin, des composés organiques formés par suite de réactions d'oxydation, de polymérisation, de photochimie. Ces gaz proviennent des combustions (foyers, moteurs, réactions chimiques).

2. - CANCER BRONCHO-PULMONAIRE PRIMITIF ET POLLUTION ATMOSPHERIQUE

L'épidémiologie, l'hygiène industrielle, l'expérimentation, ont depuis longtemps permis de classer en dehors des substances radio-actives (que nous envisagerons dans un chapitre ultérieur) certains corps comme cancérigènes pulmonaires. Or, ces produits se retrouvent dans l'atmosphère des villes. Tous les auteurs sont d'accord sur ce fait que la proportion de cancers pulmonaires est plus élevée en ville qu'en banlieue et en banlieue que dans les zones rurales.

Le cancer broncho-pulmonaire primitif est actuellement en forte augmentation dans les pays industrialisés. Le fait est net en France, où le taux de mortalité dû à cette affection est passé de 14,3 pour 100.000 habitants du sexe masculin en 1950, à 29,1 en 1960 (Aubenque et Deruffe).

Les départements où la mortalité par cancer pulmonaire est la plus élevée sont ceux où la population urbaine est la plus importante :

Moselle : 61,7 pour 100.000 hommes de plus de 30 ans en 1955-1959.

Seine : 54,4.

Haut-Rhin : 53,5.

Bouches-du-Rhône : 52,2.

Meurthe-et-Moselle : 52,2.

Nord : 48,3.

Par contre, les départements agricoles sont beaucoup moins touchés :

Vendée : 14,9.

Aveyron : 14,3.

Lozère : 6,5.

Ces produits cancérigènes sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les hydrocarbures aliphatiques et leurs produits d'oxydation. On peut y ajouter des substances inorganiques comme les composés du chrome et du nickel.

Parmi les hydrocarbures aromatiques, celui que l'on rencontre le plus souvent est le 3-4 benzopyrène, que l'on trouve avec d'autres hydrocarbures dans les gaz d'échappement des moteurs à essence et à gas-oil et dans les diverses suies. Dans ce groupe, Kotin a identifié un autre agent cancérigène, le 3-4 benzofluoranthène.

Les hydrocarbures aliphatiques proviennent des vapeurs d'essence qui, dans certaines conditions météorologiques, en présence d'oxydes

d'azote, réagissent à la lumière solaire pour former des produits d'oxydation des hydrocarbures dont l'action dans la genèse du cancer pulmonaire n'est plus discutée.

Les sels de chrome et de nickel, qui sont considérés comme cancérogènes en pathologie professionnelle, ne se retrouvent qu'à l'état de traces infimes dans l'atmosphère des villes, mais le rôle de ces polluants est à considérer.

Kotin indique que les hydrocarbures aromatiques polycycliques absorbés sur la suie sont détruits plus ou moins rapidement suivant leur nature, par l'air, la lumière ou le smog. Cependant, le 3-4 benzopyrène est suffisamment stable et la contamination par voie respiratoire est possible pendant longtemps, même dans le smog très oxydant de Los Angeles.

Le 3-4 benzopyrène est l'un des hydrocarbures qui se détruit le moins rapidement. Ces produits en inhalation chez l'animal entraînent l'apparition de tumeurs pulmonaires.

Kotin a fait inhaler à des animaux des vapeurs d'essence réagissant avec des oxydes d'azote en présence de lumière ultraviolette ou encore des vapeurs d'hydrocarbures réagissant directement avec l'ozone et il a obtenu les mêmes résultats.

Pour Mills, à Cincinnati, les gaz d'échappement sont responsables de la formation de smog d'ozone qui doit être considéré comme dangereux à une concentration supérieure à 0,1 p.p.m.

Chez l'animal les résidus de la combustion des produits pétroliers provoquent des tumeurs cutanées malignes dans plus de 37 % des cas et en même temps chez un certain nombre d'animaux d'expérience des adenomes multiples des poumons et des tumeurs malignes (Truhaut).

Les goudrons de bois et de tourbe ont les mêmes propriétés cancérogènes.

Les polluants atmosphériques provoquent des tumeurs malignes dans 7,7 % des cas.

Dans les polluants étudiés, émanant de diverses villes, Schabad a toujours décelé du 3-4 benzopyrène, la quantité variant directement avec l'importance de la ville. En dehors des villes il n'en existe pratiquement pas alors que dans une grande ville la quantité est 10 à 40 fois plus importante dans les quartiers industriels que dans les quartiers résidentiels.

A Paris, où l'on note 680 grs de poussières par 100 mètres carrés, on note 9 microgrammes de benzopyrène par gramme de poussière.

A Gennevilliers, dans la banlieue parisienne où le poids de poussières atteint 934 grs par 100 mètres carrés, on y relève 29 microgrammes de benzopyrène par gramme de poussières. (Mourev et Truffert).

La région industrielle Nord de la France est polluée. Quinot dans la région de Douai, compte 400.000 particules par centimètre-cube.

Mais les polluants atmosphériques ne sont pas seuls à incriminer dans la genèse des cancers pulmonaires. Il existe des substances cancérigènes et en particulier du 3-4 benzopyrène dans les produits de combustion du tabac. Les recherches de Schabad et ses collaborateurs ont montré que la fumée de cent cigarettes contient de 1,1 gamma à 1,6 gamma de 3-4 benzopyrène.

L'organisme contient du reste du 3-4 benzopyrène et, chez les sujets non cancéreux, Mallet et M. Héros en décèlent un microgramme par gramme de tissu sec dans les poumons et les ganglions bronchiques.

D'après les mêmes auteurs, un fumeur moyen de 50 ans en rejette 1.8 microgramme par litre d'urine. Ils ont même relevé 3 microgrammes par litre chez un enfant de 10 ans habitant Paris.

Il est bien entendu que dans toute statistique concernant le cancer pulmonaire, les causes professionnelles sont éliminées en tenant compte de la longue latence de ce cancer. (Les carcinogènes professionnels actuellement admis sont, en dehors des radiations ionisantes, les goudrons et brai de houille, l'arsenic, les chromates, le nickel et peut-être l'amiante et le béryllium, les alkylnitrosamines).

Les altérations de l'épithélium respiratoire et les modifications physiologiques lors de l'exposition aux polluants sont les suivantes :

Tout d'abord une activité exagérée des cellules ciliées et des cellules à muqueuse par réaction à l'irritation des corps étrangers.

Rapidement, si la cause persiste, neutralisation des facteurs de protection avec ralentissement des mouvements, ce qui amène une accumulation progressive des particules en certains points de l'arbre pulmonaire.

La dénudation de l'épithélium superficiel permet le dépôt des particules cancérigènes sur la couche de cellules basales, ce qui entraîne des modifications hyperplasiques, puis métaplasiques et enfin néoplasiques.

Il n'existe pas de cancer primitif de la trachée parce que les particules ne se déposent que dans les bronches ou les bronchioles.

C) AUTRES AFFECTIONS ENGENDREES PAR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

1) POLLUTION par les GERMES INFECTIEUX

Des mots tels que : peste, miasmes, malaria indiquent que la nocivité de l'air était suspectée depuis longtemps. En effet, les auteurs antiques estimaient que l'air jouait un rôle dans la transmission des maladies et parfois dans leur genèse. Il fallut arriver à Pasteur, en 1862, pour en avoir la preuve.

Flügge, à la fin du siècle dernier, mit en évidence la présence de germes microbiens dans les gouttelettes de salive projetées lors de la toux, de l'éternuement. Trillat, de l'Institut Pasteur de Paris, étudia les conditions de survie de divers germes dans l'air suivant la température, le degré hygroscopique, l'ionisation, le brouillard, etc...

Ultérieurement Wells, de 1933 à 1946, montra que les vecteurs des germes microbiens étaient les « droplets nucléi », c'est-à-dire des particules d'eau aérosolées qui forment des noyaux de condensation, de 2 à 3 microns de diamètre, alors que les gouttelettes mesurent 1 à 2 mm. Enfin, les poussières peuvent, elles aussi, servir de support aux germes, bactéries, virus, spores et même mycéliums.

La pollution microbienne de l'atmosphère provient des hommes, des animaux et des végétaux malades ; des animaux et des végétaux sains pour les allergènes.

Diverses études ont permis d'évaluer des « densités microbiennes », elles peuvent se résumer ainsi : cette densité est plus élevée en ville qu'à la campagne, elle est fonction de la population et de son activité, elle est plus importante le jour que la nuit, elle varie avec les saisons et les conditions météorologiques, elle diminue avec l'altitude et avec l'éloignement de la côte et des centres habités.

Les germes microbiens sont en général des saprophytes, mais on peut en déceler de pathogènes, par exemple des streptocoques, des entérocoques, des staphylocoques, des virus, etc... A noter qu'à doses très faibles, les particules bactériennes sont retenues par l'organisme dans une plus grande proportion que les particules minérales de même granulométrie.

Il ne faut cependant pas exagérer l'importance de la pollution de l'air par les germes infectieux. Les densités microbiennes sont le plus souvent très faibles et les germes, mis à part quelques virus très diffusibles comme celui de la grippe ou de la variole, ne sont guère agressifs pour l'homme.

Il est peut-être des temps favorables à la pollution microbienne et à l'extension des épidémies. Par exemple, pour la grippe, une pluie fine pendant quelques jours, un air saturé d'humidité, un vent léger avec un peu de mouvements d'air constituent des conditions optimales.

La pollution peut agir en dehors des contaminations directes par inhalation de germes ou d'aérosols vecteurs. En effet, l'atteinte pulmonaire par des vapeurs irritantes peut localement affaiblir les défenses de l'organisme chez un porteur sain de germes, c'est-à-dire, chez n'importe quel sujet étant donné que le pneumocoque et même le bacille de Koch peuvent être décelés dans l'atmosphère des collectivités. Par exemple, Purvis et ses collaborateurs démontrent que la résistance des souris à l'infection par un aérosol de microbes de la pneumonie décroît si les animaux sont exposés pendant trois heures à une atmosphère contenant 3 p.p.m. d'ozone.

2) LESIONS et ANOMALIES DIVERSES

Bien que la grande majorité des recherches aient été faites sur les maladies de l'appareil respiratoire, il ne faut pas négliger les observations sur les rapports entre la pollution de l'air et la fréquence d'autres affections. Il convient de signaler entre autres, les observations faites en Allemagne par Faerber et ses collaborateurs. Les auteurs ont examiné plusieurs milliers d'enfants habitant dans des zones rurales et urbaines et ils ont décelé des différences importantes, non seulement dans la fréquence des bronchites, mais même dans la fréquence d'autres troubles :

— Rachitisme	15.1 % dans les zones industrielles contre 7.1 % dans les zones rurales
— Phosphatases	14,6 UKA contre 12,5
— Nombre anormal d'hématies	4.360.000 en moyenne contre 4.686.000
— Anomalie de l'hémoglobine	79.1 % de valeur globale contre 85,9 %
— Anomalie de poids et de taille	croissance moyenne meilleure dans les zones rurales
— Lésions coulaire	6,6 % contre 1,7 %

Outre son action irritante sur les voies respiratoires, la pollution de l'air semblerait donc avoir une action irritante sur la conjonctive, une action négative sur le développement de l'enfant en général, une

influence sur la perméabilité de l'atmosphère aux rayons ultraviolets et par conséquent sur les conditions favorables au rachitisme.

Il s'agit d'hypothèses intéressantes qui mériteraient d'être étudiées de près et confirmées.

*
**

L'air de nos cités en particulier, contient beaucoup de polluants « malfaisants » d'où le nombre croissant d'affections broncho-pulmonaires consécutives à leur inhalation : bronchite chronique, asthme, cancer pulmonaire, pneumopathies infectieuses.

La pollution atmosphérique doit être considérée comme une intoxication chronique collective et la collectivité doit mettre en œuvre tous les moyens dont elle dispose pour la prévenir.

IV — ACTION PHYSIO-PATHOLOGIQUE DES POLLUANTS SUR LE POUMON

A) LES POLLUANTS GAZEUX

Les effets des polluants gazeux dépendent essentiellement de leur nature et de la concentration à laquelle ils se trouvent dans l'air inhalé. Les divers phénomènes physiologiques qui se manifestent au niveau du poumon peuvent être schématisés différemment suivant qu'il s'agit d'inhalation importante, massive, réalisant un état d'intoxication aiguë ou d'inhalation à petites doses répétées.

1) *L'inhalation massive*

Elle se traduit par un véritable état d'intoxication caractérisé dans les poumons par l'apparition d'un œdème sérique ou hémorragique, ces phénomènes exsudatifs s'accompagnent d'une réaction cellulaire à polynucléaires et à histiocytes. Cet œdème existe également au niveau des bronches, mais localisé à la sous-muqueuse et entraîne une desquamation de l'épithélium de revêtement bronchique. A ces réactions se superposent des phénomènes vaso-moteurs, dilatation des capillaires, spasmes bronchiolaires, toutes ces manifestations aboutissant à un état asphyxique progressif.

2) *L'inhalation chronique*

L'inhalation chronique de doses plus faibles peut entraîner des lésions dégénératives des parois alvéolaires soit à type d'épaississement septal, soit au contraire à type d'emphysème atrophique.

A ces lésions de l'alvéole se surajoutent des atteintes bronchiolaires : bronchiolospasme, sténose, bronchiolectasie, altération de la fonction sécrétoire, hypersécrétion muqueuse, modification de l'épuration bronchique par atteinte de la fonction ciliaire, métaplasie tissulaire, etc...

L'intrication de ces différents types d'altération, avec prédominance d'un des facteurs suivant le type d'agent polluant, aboutiront en fin de compte à l'apparition d'infections, de bronchites, d'emphyseme, de sclérose parenchymateuse plus ou moins diffuse.

En fait, le problème de la responsabilité d'un agent polluant dans le développement d'une lésion est excessivement difficile à établir, d'un point de vue clinique tout ou moins du fait de la multiplicité des agents polluants et de leur répartition dans le temps et dans l'espace. Il n'en demeure pas moins que son action est certaine si elle n'est pas encore nettement définie. C'est le cas par exemple, de la maladie décrite sous le nom d'asthme de Yokohama, dont nous avons déjà parlé. Très fréquent, cet asthme survient sur des sujets parfaitement sains et sans antécédent allergique, et ne cède qu'avec l'éloignement géographique du malade. Il n'a pas été possible de déterminer la nature exacte de l'agent polluant responsable.

B) LES POLLUANTS PARTICULAIRES

L'action des polluants particuliers est tributaire de leur pénétration et de leur rétention au niveau du poumon.

1) *Pénétration et rétention pulmonaire*

Nous avons déjà vu que les poussières en suspension pénètrent avec l'air inspiré dans les voies respiratoires. A l'expiration, une fraction seulement des particules est rejetée à l'extérieur, le rapport entre les entrées et les sorties constituant « le coefficient de rétention ».

La rétention pulmonaire des particules dépend de nombreux facteurs, pulmonaires d'une part (vitesse du courant aérien, diamètre bronchique, volume d'air inspiré) et propres aux poussières d'autre part (nature de la poussière, poids spécifique). Mais le facteur le plus important est « la taille des particules ». C'est en effet, la dimension particulière qui commande sa pénétration. Les poussières d'une taille supérieure à 5 microns sont retenues au niveau du nez et des voies aériennes supérieures, seules les particules fines, inférieures à 3 microns, atteignent les alvéoles où elles se fixent.

L'on ne possède que très peu de renseignements sur la fixation et le devenir des particules ultra-fines inférieures à 0.2 micron et leur action sur l'organisme.

2) *Epuration pulmonaire*

Les trois voies offertes à l'épuration ont bien été précisées par Policard.

Dans la première, les particules fixées au niveau des bronches ou des bronchioles vont immédiatement être prises en charge par le mécanisme d'épuration que constituent les cils vibratils de l'épithélium bronchique et très rapidement, à raison de 1.30 cm par minute ces poussières regagnent la « surface ». Il est évident que toute gêne, toute altération de cette bande transporteuse que constitue le tapis des cils vibratils (bronchiolite, bronchite, hypersécrétion de mucus ou modification de celui-ci) peut entraîner des perturbations importantes dans le fragile mécanisme de l'épuration, favorisant ainsi la rétention des particules au niveau des poumons. Les poussières intra-alvéolaires, elles, sont phagocytées par les « macrophages alvéolaires » ces macrophages vont débarrasser l'alvéole des éléments particuliers qui y sont déposés et gagner pour une certaine partie d'entre eux, la bronchiole et son tapis de cils vibratils. Ils seront, 45 minutes plus tard, au sommet de la trachée et constitueront une partie de l'expectoration.

Une autre partie des macrophages, chargée de particules, peut rester bloquée dans l'alvéole. Il se formera alors une véritable séquestration intra-alvéolaire des poussières. Ce phénomène, fréquent chez le rat, est plus rare chez l'homme.

Une troisième voie, la plus importante du point de vue pathologique, va s'offrir enfin devant le macrophage chargé de poussières. Pour une raison encore inconnue, cette cellule franchit la paroi alvéolaire, pénètre dans le septum pulmonaire et s'insère dans le tissu conjonctif situé entre les deux membranes basales qui limitent la paroi alvéolaire.

Ce macrophage émigre ensuite à travers l'espace conjonctif, gagne les gaines péri-vasculaires ou péri-bronchiques et dans un avenir plus lointain, les lymphatiques et les ganglions traché-bronchiques.

3) *Lésions pulmonaires*

Ces macrophages, très chargés en particules, s'accumulent dans les gaines conjonctives autour des vaisseaux et des bronchioles. Dans les gaines péri-bronchiolaires, Policard, Collet et Grailles ont montré que l'accumulation de poussières sous l'énithélium fera bientôt disparaître ce dernier. Il est facile de concevoir l'action et le retentissement que peut avoir une telle accumulation de poussières sur la nutrition, la motricité, la sécrétion de la bronche ainsi que

les complications d'infections secondaires, d'emphysème et de fibrose qui peuvent se constituer.

Les altérations qui se manifestent ensuite dépendent évidemment de la nature de la poussière en cause, les particules nocives comme le quartz entraînant la formation de tissu fibreux, mutilant les particules inertes comme le charbon n'apportant au début qu'une simple gêne au fonctionnement de la mécanique bronchique, telle la bronchiolite pneumoconiotique décrite par Uelinger.

Il faut avoir également à l'esprit cette localisation péri-bronchiolaire et sous-épithéliale lorsqu'il s'agit de particules non nocives par elles-mêmes mais qui peuvent par leurs propriétés absorbantes (carbon black) servir de véhicule à des produits nocifs tels que le 3-4 benzopyrène ou les produits de dégradation des essences légères des moteurs à explosion.

En dehors même de toute lésion spécifique par un agent polluant particulaire défini, le poumon empoussieré se défend moins bien contre les infections et plus particulièrement contre la tuberculose (Gernez -Rieux). C'est ainsi que King et Coll, d'une part, le Cerchar et l'Institut Pasteur de Lille d'autre part, ont pu montrer expérimentalement qu'un petit nombre de bacilles tuberculeux inoculés à un cobaye ne provoque aucune lésion alors qu'au contraire, chez un animal préalablement empoussieré, la même quantité de germes provoque des lésions graves et massives pouvant entraîner la mort de l'animal.

L'empoussierage a encore une autre incidence qui intéresse particulièrement le clinicien. Elle concerne le traitement de ces affections tuberculeuses survenant chez les empoussierés qui sont plus complexes et réagissent moins bien aux tuberculostatiques habituels. Ainsi, la présence de poussière, aussi peu nocive soit-elle, suffit à modifier le comportement de l'appareil respiratoire et le rend plus fragile vis à vis d'agressions d'origines variées.

TROISIÈME PARTIE

LA POLLUTION RADIOACTIVE DE L'ATMOSPHÈRE

On peut définir la pollution radioactive de l'atmosphère comme une souillure de l'air par des substances radioactives naturelles ou artificielles venant se surajouter, du fait des activités humaines, à la radioactivité normale.

La découverte de la radioactivité artificielle et surtout la mise au point de la bombe atomique et des techniques d'utilisation de l'énergie nucléaire ont prodigieusement multiplié les risques de libération de produits radioactifs dans l'atmosphère. Il est donc d'importance primordiale d'étudier avec soin la situation et de prendre des mesures assez efficaces pour empêcher la pollution radioactive de l'atmosphère d'atteindre une intensité telle qu'elle puisse mettre en danger la santé publique.

1) *SOURCES des PRODUITS RADIO-ACTIFS CONTAMINANTS*

1) *Production de combustible nucléaire*

Cette production est réalisée successivement : dans les mines d'uranium et de thorium où l'on extrait le minerai brut ; dans les usines annexes de laverie et de concentration ; dans les usines métallurgiques où les métaux uranium et thorium sont élaborés sous forme de lingots ; dans les usines chimiques de séparation des différents isotopes de l'uranium et du thorium.

La pollution atmosphérique résultant de ces travaux est due : soit à des poussières d'oxyde d'uranium et de thorium, soit à des composés gazeux, en particulier fluorure d'uranium.

2) — *FONCTIONNEMENT des REACTEURS NUCLEAIRES*

Les combustibles nucléaires ainsi obtenus sont introduits dans des réacteurs au sein desquels divers phénomènes doivent retenir notre attention :

— *des processus de fission* : dans les canaux des réacteurs, les produits introduits vont subir le flux des neutrons et se transformer partiellement en radio-éléments.

— *des processus thermiques* : la chaleur dégagée au cours des processus précédents nécessite l'utilisation de circuits de refroidissement.

A partir des réacteurs nucléaires, on peut donc avoir une pollution atmosphérique comportant des radio éléments naturels tels que l'uranium ou le thorium, mais essentiellement des radio-éléments artificiels obtenus par fission.

3) — *TRAITEMENTS CHIMIQUES et METALLURGIQUES*

Les traitements chimiques et métallurgiques des produits qui sont extraits des réacteurs ont pour but de récupérer le combustible primaire (uranium et thorium), d'extraire le combustible secondaire apparu (plutonium par exemple), et de les transformer en composés utilisables.

Les quantités et les activités des résidus obtenus au cours de ce cycle sont considérables et posent un délicat problème de traitement et de stockage.

Heureusement, la pollution atmosphérique qui peut en résulter est limitée ; elle est due pratiquement aux seuls radio-éléments artificiels sous forme de fines particules en suspension dans l'atmosphère. Il s'agit en général de radio-éléments émetteurs ζ ou β et de longue période radio-active.

4) — *UTILISATION PACIFIQUE des RADIO-ELEMENTS*

La pollution atmosphérique est ici en général peu importante, les produits contaminants sont sous forme de composés solubles ou insolubles en suspension dans l'air. De toute façon, il s'agit de radio-éléments émetteurs β à période courte ou moyenne.

Il est bien évident que toutes les sources qui viennent d'être énumérées, n'engendrent qu'une pollution atmosphérique extrêmement limitée dans l'espace, même en cas d'accident, et ne risquent pas d'altérer la santé de l'homme en général. Il n'en va pas de même pour l'arme atomique.

5) — *EXPLOSIONS NUCLEAIRES*

Les explosions nucléaires expérimentales sont de deux types :

— les unes basées sur des phénomènes de fission utilisant l'uranium 235 ou le plutonium 239 ;

— les autres basées sur des phénomènes de fusion de noyaux légers (hydrogène ou lithium).

L'explosion est caractérisée par une réaction en chaîne non modérée au cours de laquelle apparaissent des flux de neutrons très importants susceptibles d'activer les matériaux du voisinage. Il en résulte que les produits radio-actifs libérés par une telle explosion comprennent : les explosifs non-utilisés (uranium 235, plutonium 239), les produits de fission formés à partir de ces explosifs (strontium 90, césium 137, iode 131, etc...), les produits d'activation par les neutrons des matériaux de la terre ou de l'eau (calcium 45, sodium 24).

L'explosion et l'élévation de température considérable qui l'accompagne mettent ces différentes substances radio-actives soit sous forme de gaz, soit sous forme de particules plus ou moins fines qui sont rejetées dans l'atmosphère à des altitudes plus considérables pour les bombes à fusion que pour les bombes à fission. Cela constitue la pollution atmosphérique primaire immédiate au lieu de l'explosion. Mais il existe une pollution atmosphérique secondaire due aux retombées radio-actives. En effet, les particules projetées dans l'atmosphère vont circuler en fonction de l'altitude à laquelle elles ont été projetées et de leur granulométrie. Elles retomberont et se disperseront à la surface du sol, soit par simple sédimentation, soit par précipitations avec l'eau de pluie. Il en résulte une pollution atmosphérique à plus ou moins grande distance et à plus ou moins long terme en fonction du type et de la puissance des bombes.

Les principales substances contaminantes sont au bout d'un certain temps le strontium 90 et le césium 137.

II — *MODALITES DE POLLUTION ATMOSPHERIQUE*

1) *Importance des pollutions*

Sous l'angle quantitatif il est utile d'envisager d'une part la quantité totale des substances radio-actives mises en jeu, d'autre part la concentration par unité de volume atmosphérique. Il est clair que des quantités importantes de radio-éléments peuvent polluer l'atmosphère sans danger appréciable si l'activité spécifique par unité de volume atmosphérique est suffisamment réduite (c'est le cas des produits radio-actifs rejetés par les hautes cheminées des établissements atomiques).

2) *Extension des pollutions*

Il apparaît clairement qu'une contamination est d'autant plus préjudiciable à la santé publique qu'elle risque d'atteindre un plus grand nombre d'individus.

On peut considérer trois domaines d'extension des pollutions radio-actives de l'atmosphère :

● *Pollution locale*

Il s'agit dans ce cas de la contamination de l'air au lieu même de l'émission de substances radioactives (galeries de mine, laboratoires). Les personnes soumises à de telles contaminations sont exclusivement des professionnels et leur nombre est restreint.

● *Pollution régionale*

Il faut entendre sous ce vocable les cas de contamination radio-active débordant le cadre de l'établissement industriel pour polluer l'atmosphère du voisinage. Le rayon des pollutions est en général de l'ordre de quelques kilomètres. On peut citer comme exemple celui des centrales atomiques ou des centres de production de radio-éléments. La contamination atmosphérique se fait par l'intermédiaire de cheminées dont la hauteur est calculée pour permettre une dispersion de la radio-activité telle que les concentrations résultantes soient suffisamment faibles. Dans ce cas, les personnes susceptibles d'être soumises à la pollution atmosphérique sont à la fois les travailleurs du centre et les populations des alentours. De toute façon ces populations ne représentent en général que quelques milliers de personnes et la contamination secondaire du sol, de la flore et de la faune n'intéresse qu'une superficie restreinte. Cependant, de telles considérations doivent intervenir dans le choix des sites pour les établissements atomiques.

● *Pollution générale*

L'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques ne peut entraîner de pollution générale de l'atmosphère que par sommation des contaminations régionales. Ce résultat ne saurait être obtenu qu'en cas de développement considérable de l'énergie atomique ; par contre les explosions nucléaires réalisent une pollution générale de l'atmosphère ; cette pollution, importante dans les régions avoisinant le lieu de l'explosion, est toutefois décelable sur l'ensemble de la planète. Les retombées radio-actives à longues distances et à long terme, constituées essentiellement de strontium - 90 et de césium 137, contaminent l'atmosphère, et, par leur dépôt, la chaîne alimentaire. Le danger réside donc moins dans l'activité relativement très faible que dans l'étendue des zones polluées.

III - EVOLUTION de la CONTAMINATION RADIOACTIVE de L'ATMOSPHERE.

L'évolution de la contamination radioactive est intéressante à étudier car c'est d'elle que dépendent les conséquences finales de la pollution atmosphérique pour l'homme et son milieu. Cette évolution est déterminée par des facteurs intrinsèques qui tiennent aux conditions du milieu contaminé.

1) Facteurs liés aux contaminants radioactifs.

● Propriétés physiques

Il existe deux formes physiques sous lesquelles se présente un vecteur matériel : les gaz et les particules.

Les gaz et vapeurs radioactifs sont aisément diffusibles et se comportent sensiblement comme l'air au cours du cycle ultérieur de l'évolution, en particulier lors de l'inhalation par l'homme. Les particules en suspension dans l'atmosphère peuvent se présenter sous forme d'aérosols, liquides ou solide. Il est clair que les propriétés liées à cet état dispersé, notamment la granulométrie, conditionnent son devenir : diffusion, sédimentation, absorption, etc...

● Propriétés radioactives

Elles sont essentiellement caractérisées par la désintégration et l'émission associée de rayonnements.

La désintégration des radio-éléments obéit d'une façon très générale à une loi exponentielle. La constante de désintégration est caractéristique pour chaque radio-nucléide : d'une façon habituelle on établit la période radioactive c'est-à-dire le temps nécessaire pour que la moitié des atomes présents se soient désintégrés, cette période pouvant aller de quelques secondes à des centaines de milliers d'années. Ainsi, dans le cas de période courte, la pollution radioactive s'étendra d'elle-même très rapidement en cas de non-renouvellement de l'émission ; alors qu'en cas de période longue, elle se maintiendra pratiquement constante.

L'émission de rayonnements, associée à la désintégration, est caractérisée par la nature et l'énergie des radiations émises. La nature des rayonnements émis conditionne en grande partie les types d'irradiation des organismes, en particulier du fait des parcours dans la matière, courte pour les rayons γ , moyens pour les rayons β , longs pour les rayons α .

II) Facteurs liés au milieu.

Les conditions de milieu peuvent être groupées en deux caté-

gories, celles qui sont plus particulièrement liées à l'atmosphère et celles qui caractérisent d'une façon générale l'écologie.

a) *Conditions atmosphériques.*

Elles vont influencer sur la diffusion des contaminants radio-actifs, leur turbulence, leur sédimentation, leur dépôt. D'elles dépendra en particulier l'extension plus ou moins grande de la contamination, d'autre part l'homogénéisation plus ou moins poussée des concentrations radio-actives.

b) *Conditions écologiques.*

La pollution de l'atmosphère entraîne obligatoirement un échange de contaminants radioactifs avec le milieu biologique. Cet échange peut se faire de façon directe ou indirecte.

Nombre d'êtres vivants sont susceptibles d'être contaminés directement en inhalant l'air pollué par les substances radio-actives. C'est le cas de tous les animaux à respiration aérienne et en particulier celui de l'homme. Cette contamination est caractérisée par le fait que la concentration secondaire des substances radio-actives à l'intérieur de l'organisme ne dépend que du pouvoir de fixation élective des organes pour lesquels les radio-éléments présentent un tropisme particulier. Sauf cas exceptionnels, ces concentrations ne sont que relativement faibles.

Au contraire, dans le cas de contamination indirecte, le cycle du radio-élément contaminant peut être extrêmement compliqué. Il résulte du passage successif tout au long de la chaîne alimentaire. La flore et la faune, en puisant leur nourriture dans le sol et les eaux, vont se contaminer secondairement.

L'alimentation variée de l'homme fait que la contamination secondaire, à partir de la chaîne alimentaire, trouvera des origines multiples. Actuellement, dans les pays européens, le lait doit être considéré comme l'un des vecteurs essentiels de la contamination indirecte. C'est ce qui explique que les mesures de strontium-90 dans le squelette des enfants aient donné un résultat plus élevé que pour le squelette des adultes, du fait de leur alimentation lactée prépondérante.

Ces deux modalités d'agression correspondent à des domaines particuliers. L'exposition et les contaminations cutanées et respiratoires se rencontrent dans le domaine professionnel ou au voisinage immédiat des installations atomiques. La contamination alimentaire intéresse au contraire l'ensemble des populations.

IV — EFFETS de la POLLUTION RADIOACTIVE de l'ATMOSPHERE.

Après l'étude de la pollution radio-active de l'atmosphère, il convient d'examiner maintenant quels effets on peut en attendre sur l'homme et sur son milieu.

I) *Notions de radiopathologie.*

La radiopathologie est l'étude des affections dues aux radiations ionisantes. Les tissus en général présentent des niveaux différents de radio-sensibilité, les plus sensibles étant appelés tissus ou organes critiques (organes hématopoiétiques, muqueuse digestive, peau, glandes génitales).

a) *POLYMORPHISME*

L'irradiation de l'organisme peut entraîner une infinie variété d'effets biologiques : troubles fonctionnels tels qu'érythème ou hyposécrétion glandulaire, altérations morphologiques telles que sclérose conjonctive ou anémie, induction de cancers tels qu'épithélioma, sarcome ou leucémie, raccourcissement de la durée de la vie et vieillissement précoce, tares génétiques dominantes ou récessives. Ordinairement, ces troubles sont classés en deux grandes catégories : les effets somatiques qui atteignent l'individu même qui a été irradié : les effets génétiques qui atteignent sa descendance.

b) *LATENCE des MANIFESTATIONS.*

Les troubles mentionnés offrent un caractère très général qui est celui d'une manifestation plus ou moins lointaine après le moment de l'irradiation. Dans certains cas d'irradiation aiguë, ce temps de latence peut se réduire à quelques jours ou quelques heures, mais pour des manifestations subaigües, il est de l'ordre de quelques semaines.

Dans le cas des effets cancérogènes, plusieurs années ou dizaines d'années s'écoulent entre l'irradiation et la manifestation du cancer. A plus forte raison, dans le domaine génétique où, si les tares dominantes peuvent se manifester dès la première génération, les tares récessives s'étalent sur des dizaines de générations.

Classiquement, on distingue les effets précoces (modifications fonctionnelles ou morphologiques bénignes) et tardifs (raccourcissement de la durée de la vie, induction de cancers et de mutations génétiques).

c) *PROBABILITE d'APPARITION.*

Les troubles fonctionnels et les lésions bénignes nécessitent presque toujours l'administration d'une dose-seuil au-dessous de laquelle les phénomènes ne se manifestent pas. Par contre, le raccourcissement de la durée de la vie, l'induction de leucémies et de mutations génétiques peuvent apparaître d'une façon significative pour des irradiations très faibles et le taux de ces affections croît avec l'augmentation de la dose reçue.

d) *REVERSIBILITE.*

La restauration ne peut être considérée comme intégrale que dans le rare cas de troubles fonctionnels discrets et n'est en général que partielle après des altérations morphologiques. Par contre l'irréversibilité des phénomènes est de règle dans l'induction de cancers et de mutations génétiques.

e) *TRANSMISSIBILITE.*

La transmissibilité des tares est le caractère essentiel des mutations génétiques. Par contre, ce caractère disparaît pour les troubles fonctionnels et les lésions anatomiques bénignes.

Al total, une affection est d'autant plus grave qu'elle est irréversible et transmissible. L'absence de seuil et un temps de latence prolongé accentuent notablement le caractère inquiétant de ces affections.

2) *MODALITES d'IRRADIATION.*

Il existe deux grandes modalités d'irradiation de l'organisme : l'exposition à un rayonnement émis à distance ; la contamination par des substances radio-actives amenées au contact ou à l'intérieur du corps. C'est cette dernière qui représente le risque le plus important du fait de la pollution atmosphérique. Cette contamination peut-être externe ou interne.

La contamination externe provient du dépôt à la surface de la peau de particules radio-actives en suspension dans l'atmosphère. Il en résulte une irradiation cutanée ; une irradiation générale en cas d'émetteurs γ ; il peut en résulter une contamination interne par voie respiratoire ou digestive en cas d'adhérence insuffisante des particules à la surface de la peau (mains portées à la bouche par exemple).

La contamination interne se fait par voie respiratoire, par voie digestive ou par voie transcutanée.

La voie respiratoire est directe et de loin la plus courante et la plus importante. La voie digestive est indirecte, soit à partir d'une contamination secondaire de la chaîne alimentaire, soit consécutive à une contamination cutanée ou respiratoire.

La contamination transeutanée est exceptionnelle, à la suite de blessures.

Dans le domaine professionnel, les travailleurs sont avant tout soumis à des risques de contamination cutanée et de contamination respiratoire. Dans le domaine public, les risques d'exposition directe et de contamination digestive indirecte deviennent prépondérants, tout en restant nettement inférieurs en importance à ceux de l'irradiation des travailleurs.

3) *TOXICITE des RADIO-ELEMENTS.*

On peut dire que d'une façon générale doivent être considérés comme plus dangereux les radio-éléments à tropisme électif pour des tissus particulièrement radio-sensibles, à périodes biologique et radio-active longues, émettant un rayonnement à forte densité d'ionisation. Ainsi le sodium-24 et le phosphore-32 présentent une toxicité relativement faible du fait qu'ils se distribuent de façon relativement homogène dans l'organisme, que leurs périodes biologique et radio-active sont courtes.

Le strontium et le plutonium présentent une toxicité importante du fait qu'ils se fixent électivement dans l'os, irradiant la moëlle osseuse particulièrement sensible, que leurs périodes biologiques et radio-active sont longues.

Nous ne parlerons pas des doses maximales admissibles.

Ce sujet relève de la pathologie professionnelle et sort du cadre de la pollution atmosphérique générale.

V — *CONTROLE et PREVENTION de la POLLUTION RADIO-ACTIVE de l'ATMOSPHERE.*

Nous n'entrerons pas dans le détail des méthodes et des techniques de contrôle et de prévention. Nous soulignerons leur importance et leur difficulté.

La surveillance de la pollution atmosphérique doit en effet être systématique. Cela découle du fait qu'une irradiation d'une façon générale et une contamination radio-active en particulier passent complètement inaperçues, même pour des quantités de rayonnements ou de radio-éléments largement toxiques. Les sens

humains sont incapables de détecter les radiations. Ils peuvent tout au plus déceler le vecteur matériel d'une contamination radio-active (gaz ou poussières).

En outre, les affections dues aux radiations ne présentent pas de caractère spécifique étiologique et peuvent être dues à toute autre cause.

Ajoutons à ceci le fait qu'un temps de latence souvent considérable s'écoule entre le moment de l'agression et celui de l'apparition des dommages.

Enfin, l'absence quasi totale de thérapeutique préventive ou curative après inhalation de substances radio-actives milite également en faveur de la détection sûre et immédiate et surtout de la prévention des contaminations radio-actives.

L'Organisation mondiale de la Santé encourage la collaboration nécessaire et aide les gouvernements en diffusant les renseignements les plus récents sur les dangers réels de la contamination radio-active de l'atmosphère, ainsi que sur les moyens de contrôle, de prévention et de protection dont on dispose.

En France, le Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (S.C.P.R.I.) a organisé un réseau qui compte actuellement 30 stations de prélèvements réparties sur l'ensemble du territoire métropolitain et des départements d'Outre-Mer.

Dès 1959, plusieurs d'entre elles ont été choisies comme stations de référence, en fonction de leur situation géographique, climatique et géologique, de façon à n'y prélever que des échantillons parfaitement homogènes et représentatifs, eux-mêmes centralisés dans un seul laboratoire équipé pour les radio-analyses.

En particulier, il a été possible de mener, au niveau de ces stations, une étude locale des principaux maillons de la chaîne alimentaire (poussières atmosphériques, précipitations, végétaux, lait et os notamment). Une telle étude est dite de type « vertical ». Cette surveillance est complétée par la radio-analyse systématique mensuelle des laits, sur la totalité du territoire, à la recherche d'une contamination par le Strontium-90. Des calculs permettent de prévoir que l'alimentation lactée d'un jeune enfant devrait entraîner une contamination du calcium de ses os, par le Strontium-90, de l'ordre du dixième de celle que l'on mesure dans le lait qu'il ingère.

QUATRIÈME PARTIE

MOYENS DE LUTTE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

I — MOYENS DE LUTTE PROPREMENT DITS

Nous savons que la pollution atmosphérique a trois origines principales : les foyers domestiques qui y participent à raison de 50 % environ, l'industrie et les véhicules à moteur à raison de 25 % chaque.

Dans le cadre de la lutte contre cette pollution, nous allons essayer de proposer quelques mesures à prendre qui pourraient assainir l'atmosphère de nos cités. Nous verrons dans un chapitre ultérieur les moyens psychologiques tels que l'information et l'éducation du public.

A) FOYERS DOMESTIQUES

Les efforts relatifs à la purification de l'air ne peuvent naturellement pas arrêter une augmentation constante des émissions, déterminée par le niveau de vie croissant qui entraîne l'agrandissement de l'espace habitable par personne conduisant à des besoins plus élevés en chaleur et ainsi à une consommation plus élevée de combustibles dans le secteur domestique. Comment y remédier ?

1) MOYENS de PROTECTIONS TECHNIQUES.

a) *Les additifs pour combustibles liquides.*

Ce sont généralement des désulfurants. En effet, l'action du soufre contenu dans le fuel est particulièrement dégradante. Le soufre produit en brûlant de l'abhydride sulfureux qui se transforme en anhydride sulfurique puis, au contact de la vapeur d'eau, en acide sulfurique sous l'influence de catalyseurs, tels que les suies, sels sulfureux et ferriques dont les conduits de fumée sont imprégnés.

La suie eurobant le $\text{SO}_4 \text{H}_2$ se répand et joue son rôle destructeur sur nos muqueuses.

Certes la teneur en soufre des fuels a été limitée par une récente réglementation. Elle doit être aujourd'hui de :

- 0 à 0,7 % pour le fuel domestique,
- 0,8 à 2 % pour le fuel-oil léger,
- 0,5 à 3,5 % pour le fuel-oil lourd N° 1,
- 0,5 à 4 % pour le fuel-oil lourd N° 2.

Il n'en reste pas moins qu'il est souhaitable d'éliminer totalement le soufre, ce qui peut être obtenu par certains adjuvants. Ces produits auront pour effet d'homogénéiser le fuel, d'atténuer les suies et les fumées, de réduire les encrassements des chaudières et des conduits, de réduire enfin la consommation de 5 à 10 %.

b) *L'emploi de combustibles liquides B.T.S. (basse teneur en soufre) provenant du Sahara.*

c) *Les appareils de traitement des fumées de fuel.*

Ce sont les filtres que l'on place sur le parcours des carreaux de fumée et les capte-suies :

Les capte-suies jouent le rôle d'aspirateurs statiques, obligeant les gaz à exécuter de brusques changements de direction, afin de précipiter les suies en suspension dans les trémies, qui, évidemment, doivent être régulièrement nettoyées.

d) *Les appareils de traitement des fumées de charbon.*

Ce sont les dépoussiéreurs placés en chaufferies.

e) *Les appareils de traitement des fumées par ultra-sons.*

Les poussières s'agglutinent et se fixent sur les paroi d'un cylindre d'où elles sont entraînées et évacuées par un courant d'eau.

f) *Les oxycatalyseurs de combustion.*

Le procédé consiste à interposer sur le passage des gaz chauds des éléments catalytiques qui assurent l'oxydation complète des imbrûlés contenus dans ces gaz.

g) *Les filtres électroniques.*

Ces filtres intéressent surtout de très grosses installations et assurent l'épuration de l'air comportant une faible concentration de poussières.

h) *Les filtres électro-statiques.*

s'emploient aussi à l'échelle industrielle.

2) AUTRES CONSEILS TECHNIQUES.

On ne saurait cependant s'arrêter à un seul procédé. La solution consiste, généralement, en l'adoption d'un ensemble de méthodes qui doivent permettre d'arriver graduellement à des résultats d'ensemble.

Mais, il n'est pas mauvais d'insister, avant de chercher à doter son installation d'un appareil coûteux, il convient de vérifier si la chaudière, le brûleur et la cheminée sont en bon état.

a) *La chaudière*

Il faut obtenir une mise en régime aussi rapide que possible en jouant sur la masse, le coefficient de conductibilité, la densité des matériaux utilisés pour l'exécution de la chambre de combustion.

b) *L'équipement mazout*

Les « règles de l'art » varient selon la nature du combustible, les variations d'allure demandées au brûleur, le système de régulation utilisé, etc...

Il y a donc une adaptation à faire pour chaque cas et l'installation ne peut être faite que par un spécialiste qualifié.

c) *La cheminée et les conduits de fumée.*

Les cheminées des immeubles parisiens anciens sont généralement en mauvais état et celles des immeubles neufs assez souvent mal isolées. Or la cheminée est l'organe essentiel de l'installation.

Le calcul de la section du circuit d'évacuation des fumées doit être fait en fonction du volume de gaz à évacuer et de la hauteur possible de la cheminée.

Il convient d'éviter les coudes, les pièces de raccordement, les conduits uniques lorsqu'il y a plusieurs niveaux, les variations brusques de section.

Il faut veiller à ce que l'étanchéité des parois soit assurée, que leur rugosité soit le plus faible possible et que leur coefficient de déperdition calorifique soit très bas.

Le débouché à l'air libre doit être très dégagé tout en étant protégé contre les vents plongeants.

Rappelons que la réglementation parisienne exige que les conduits soient saillants de un mètre au-dessus des obstacles avoisinants et construits à plus de 10 mètres de toute autre construction.

Les cas les plus courants de mauvaises dispositions des conduits qui provoquent, ainsi, un refroidissement prématuré des produits de combustion, de la fumée et des suies sont les suivants : cheminée insuffisamment haute, cheminée extérieure au bâtiment, surplomb d'un mur proche du conduit, prolongation du conduit par un tuyau métallique.

Les conduits de fumée ont donc une large part dans la pollution de l'atmosphère. Et c'est le cas d'un quart des conduits parisiens !

3) MESURES D'ORDRE PREVENTIF

Il s'agit ici de nouvelles techniques de chauffe éliminant la production de fumée.

a) *Extension du chauffage urbain*

Il permet de supprimer un très grand nombre de foyers domestiques ou de chaufferies d'immeubles et de les remplacer par un nombre très limité de centrales productrices dans lesquelles la combustion peut constamment être contrôlée et conduite dans les meilleures conditions, ces centrales étant situées à la périphérie des villes dans des zones non résidentielles.

Le chauffage urbain permet également de réduire le nombre des installations de stockage ainsi que l'importance des transports de combustibles, de cendres et de mâchefers.

En ce qui concerne le chauffage au fuel-oil, il est plus facile d'imposer à une exploitation de chauffage urbain, qu'il ne le serait à des particuliers, l'emploi d'un fuel-oil à basse teneur en soufre.

Le chauffage urbain peut d'ailleurs faire appel à d'autres combustibles (ordures ménagères, charbon, etc...) ou être associé à la production d'énergie électrique.

Le développement du chauffage urbain de Paris qui s'était poursuivi à un rythme relativement lent a, au cours de ces dernières années, pris un véritable essor : la longueur du réseau en janvier 1967 atteignait 120 kilomètres.

Quelques chiffres illustrent l'intérêt de ce mode de chauffage pour la propreté et la salubrité de Paris :

— au 1^{er} janvier 1967, le raccordement au chauffage urbain a entraîné la suspension d'environ 8.000 cheminées de foyers domestiques.

— L'économie de combustible procurée a été de 140.000 tonnes.

-- Le transport dans Paris de plus de 160.000 tonnes de combustibles et résidus de combustion a été évité.

— Ce nouveau mode a entraîné une réduction théorique de 50% des émissions de fumée.

b) Développement du chauffage au gaz.

Le gaz de ville, manufacturé ou à l'état naturel, ne contient que très peu de soufre. Lorsque la combustion du gaz a lieu dans des appareils construits selon les normes homologuées, correctement réglés et utilisés dans les conditions prescrites par les textes réglementaires, les produits de la combustion ne contiennent qu'une quantité absolument négligeable d'oxyde de carbone.

Le problème majeur consiste donc à disposer de quantités de gaz naturel accrues dans la région parisienne : tel est l'objet des importations de méthane liquide et des futurs approvisionnements en gaz de Groningue.

Il est donc du plus haut intérêt d'accentuer le développement du chauffage au gaz en utilisant toutes les possibilités qui s'ouvrent dans cette voie, afin d'assainir l'atmosphère parisienne durant l'hiver.

L'équipement des foyers parisiens progresse chaque année et le nombre d'installations de chauffage central individuel au gaz est passé de 38.474 fin 1959 à 85.000 fin 1966, soit un peu plus de 45.000 installations nouvelles en cinq ans.

c) Emploi de l'électricité

L'électricité dans ses utilisations multiples contribue également à l'assainissement de l'atmosphère, et l'emploi du chauffage électrique peut apporter une solution au problème de la pollution de l'air. Mais le développement important de ce mode de chauffage nécessiterait des investissements considérables dans les installations de production, de répartition et de distribution d'électricité.

Toutefois il existe des applications domestiques nombreuses dont l'usage se répand : cuisinières, chauffe-eau, appareils de chauffage d'appoint...

d) Isolation thermique du bâtiment.

Il existe, dans le domaine de la construction, un facteur susceptible d'accroître la qualité et le confort de l'habitation et, en même temps, de contribuer dans une large mesure à la réduction de la pollution atmosphérique, c'est l'isolation thermique.

On entend sous ce terme la mise en œuvre de certains matériaux

ainsi que l'application de dispositifs appropriés dans la construction, dans le but d'obtenir de meilleures conditions de confort thermique.

Une bonne isolation thermique conduira donc directement à une économie de combustibles et indirectement à l'assainissement de l'atmosphère. En effet, la réduction sensible de la quantité de combustible polluants (charbons, fuels) brûlée dans les milliers de foyers domestiques des grandes agglomérations contribuera déjà à abaisser le niveau général de pollution, de façon appréciable.

Mais l'application étendue de l'isolation thermique permettra aussi de généraliser l'emploi de combustibles gazeux, voire du chauffage électrique grâce à la diminution sensible de consommation nécessaire pour l'obtention du même degré de confort thermique.

B) *ETABLISSEMENTS INDUSTRIELS*

Il est impossible dans le cadre de ce chapitre d'envisager les moyens et les techniques de prévention propres à chaque type d'industrie.

Nous nous bornerons simplement à énoncer quelques mesures d'ordre général telles qu'elles ont été proposées par le conseil de l'Europe dans sa conférence du mois de juin 1964 à Strasbourg.

Avant l'énoncé de ces mesures qui relèvent surtout de l'aménagement du territoire, nous envisagerons quelques moyens possibles quant à l'amélioration des méthodes industrielles.

1) *PREVENTION DE LA POLLUTION DE L'AIR PAR L'AMELIORATION DES METHODES INDUSTRIELLES*

Les mesures de lutte contre la pollution de l'air par l'amélioration des méthodes industrielles dépendent évidemment des divers procédés en cause. Aussi n'existe-t-il aucune règle d'application générale. Le choix des mesures à appliquer repose sur :

— la détermination des types de contaminants qui sont à l'origine du problème que pose la pollution atmosphérique ;

— l'étude complète des procédés industriels pour savoir quels sont les appareils ou zones d'exploitation qui émettent les produits nocifs ;

— la détermination des techniques propres à éviter l'émission de ces produits.

Quatre mesures sont possibles pour éliminer les contaminants par modification des procédés industriels :

a) *changer de matières premières ou de combustibles*

(exemple la substitution aux charbons gras de charbons pauvres en produits volatils : la substitution aux combustibles riches en soufre de combustibles faiblement sulfurés) ;

b) *changer de procédé*

(exemple : la modification du fonctionnement d'un appareil, l'addition d'une autre opération) ;

c) *modifier ou remplacer le matériel* ;

d) *modifier les modes opératoires*

(exemple : l'incinération des déchets combustibles où la combustion et la rétention des solides non combustibles doivent être maximales).

2) *AMENAGEMENT DU TERRITOIRE*

a) « la mesure la plus courante consiste à délimiter des zones ou des quartiers dans lesquels la création d'entreprises industrielles est limitée ou interdite et à indiquer des zones ou districts dans lesquels le développement industriel est non seulement toléré mais franchement favorisé, le sol ne devant pas être affecté à d'autres usages. Cela implique une concentration des industries dans des régions déterminées à l'intérieur de zones bien délimitées ».

b) « pour les industries qui causent le degré le plus élevé de pollution, les restrictions seront plus sévères : leur emplacement sera choisi avec le plus grand soin. Les industries moins gênantes peuvent être installées dans un plus grand nombre de régions et dans des lieux moins propices ».

c) « Certains projets d'aménagement, concernant notamment des régions agricoles ou touristiques, ne prévoient aucune zone réservée aux établissements industriels de quelque importance. De tels plans aboutissent à proscrire l'implantation d'industries dans ces régions, ce qui assure la pureté de l'atmosphère ».

d) « une mesure complémentaire consiste à prévoir des zones résidentielles dans lesquelles la pollution de l'air due aux industries est en principe faible. La construction de logements dans des zones moins propices peut être interdite ou limitée ».

e) « la mesure précédente aboutira un jour à la création de quartiers résidentiels bien aménagés dans les lieux les plus propices où les sources de pollution de l'atmosphère seront aussi peu nombreuses que possible ».

f) « la ségrégation qu'implique la création de zones industrielles et de zones résidentielles distinctes ne donnera de bons résultats que si l'emplacement des unes et des autres a été choisi à bon escient. Pour obtenir ce résultat, il convient d'abord de prévoir une distance suffisante entre les deux sortes de zones ».

g) « dans les cas où certains vents prédominent, un rôle important revient non seulement à la distance, mais encore à la direction dans laquelle une zone industrielle se trouvera par rapport à une zone résidentielle. Par rapport à celle-ci, la zone industrielle devra se trouver sous le vent ».

h) A l'issue de cette énumération de mesures, soulignons le rôle bénéfique des espaces verts sur lesquels nous reviendrons dans un paragraphe ultérieur.

C) *VEHICULES AUTOMOBILES*

1) *Mesures d'ordre général*

L'expérience montre que les teneurs en gaz toxiques n'atteignent la cote d'alerte que dans quelques villes à circulation très dense, en quelques points, et à certaines heures de la journée. Les concentrations maximales s'observent :

- dans les rues étroites et encaissées,
- dans les passages souterrains urbains,
- dans les longues files de voitures et les embouteillages,
- aux arrêts prolongés devant les signaux,

c'est-à-dire dans toutes les circonstances qui imposent des marches lentes du véhicule, des marches du moteur au ralenti et des successions de décélérations et d'accélération.

De plus, une voiture qui circule vite crée automatiquement une ventilation et un brassage qui diffusent rapidement les imbrûlés et surtout l'oxyde de carbone dont la densité est très légèrement inférieure à celle de l'air.

Par conséquent, toutes les mesures tendant à activer la circulation telles que :

- la création d'itinéraires de contournement des quartiers aux rues étroites,
- la création d'autoroutes évitant villes et bourgs,

— les passages inférieurs ou supérieurs supprimant les croisements à niveaux,

— l'accélération de la circulation (multiplication des voies de circulation, sens uniques, synchronisation des feux de signalisation) faciliteront la dispersion des gaz toxiques.

Citons encore :

— l'élargissement des artères,

— la limitation des hauteurs des maisons riveraines,

— la création d'espaces verts,

— et toutes mesures susceptibles de faciliter la ventilation naturelle des villes.

2) Mesures relatives aux combustibles

Les progrès réalisés dans le raffinage, la préparation et la distribution des carburants et combustibles sont considérables.

C'est ainsi que les teneurs en soufre, dont les composés sont particulièrement dangereux, sont respectivement de l'ordre de 0,1 % pour l'essence et de 0,3 à 0,4 % pour le gas-oil, c'est-à-dire très faibles par rapport aux teneurs des huiles lourdes de chauffage.

Parmi les autres mesures qui tendent à diminuer la pollution, nous rappellerons :

— les modifications saisonnières des caractéristiques des carburants, telles que l'augmentation de la teneur en produits plus volatils en hiver, ce qui facilite le démarrage et la combustion et diminue la production des hydrocarbures imbrûlés.

— les produits d'addition qui évitent des troubles d'alimentation et de carburation et réagissent sur la composition des produits d'échappement.

— les produits antidétonants tels que le plomb tétraéthyle.

Ils permettent l'augmentation du rendement, l'amélioration de la combustion, l'abaissement de la consommation, c'est-à-dire tous résultats agissant contre la pollution par l'oxyde de carbone et les imbrûlés, mais avec, en contre partie, l'émission de composés du plomb. (En fait, la quantité de plomb inspirée avec l'air des rues d'une ville représente environ le 1/10^e de celle apportée par les aliments).

3) Mesures dépendant du constructeur

Les difficultés pour une solution technique de ce problème sont plus grandes pour les moteurs à essence que pour ceux du type Diésel.

Dans les moteurs Diésel, en effet, la carburation se produit en règle générale avec excès d'oxygène et par conséquent, sauf conditions particulières (moteur mal réglé), ils n'émettent qu'une faible quantité de produits d'échappement non brûlés. Par contre, dans les moteurs à essence, le système de carburation et les variations continues du mélange détonant (changeant suivant l'effort demandé au moteur) provoquent l'émission de substances non complètement brûlées, ou pas brûlées du tout.

Pour le moteur à essence, des solutions techniques, dans le détail desquelles nous n'entrerons pas, sont recherchées dans deux directions :

- ne pas faire de polluants, ou tout au moins en réduire la formation dans les limites admissibles, c'est-à-dire par une action avant ou pendant la combustion dans le cylindre ;
- les détruire avant que le moteur ne les émette dans l'atmosphère, c'est-à-dire après la combustion.

4) Mesures à prendre par l'usager

Il est d'une extrême importance que l'usager participe à la lutte contre la pollution, par discipline volontaire.

Pour les moteurs Diésel il faut faire vérifier régulièrement le système d'alimentation et ne pas utiliser le moteur en surcharge.

Quant au propriétaire du véhicule à essence qui n'est ni averti ni trahi par une émission visible de fumée, il devrait s'astreindre à quelques précautions telles que l'utilisation limitée du starter et la limitation des temps de marche au ralenti, ainsi qu'à des opérations périodiques simples telles que :

- la vérification et le nettoyage du filtre à air,
- la vérification du réglage du carburateur et son nettoyage,
- l'inspection des circuits d'échappement,
- la vérification du système d'allumage.

D'où l'opportunité d'une réglementation obligeant l'usager à maintenir son moteur de voiture en bon état et bien réglé. Dans cette réglementation figure par exemple la vérification périodique des véhicules de vieille construction, le contrôle annuel obligatoire des

véhicules lourds destinés au transport des marchandises, la faculté pour la police de la route d'arrêter les voitures qui émettent par l'échappement une fumée noire et d'en interdire la circulation jusqu'à ce que les réparations nécessaires soient faites.

D) AUTRES MESURES

1) *Les espaces verts*

Au point de vue de l'hygiène des habitants, le rôle bienfaisant des espaces verts s'exerce par des effets dynamiques et par des effets statiques.

Parmi les effets dynamiques il convient de citer l'amélioration de l'air liée, d'une part, à la fonction chlorophyllienne des végétaux et, d'autre part, à une émission sensible de vapeur d'eau.

Les effets statiques tiennent en premier lieu aux réserves d'air pur qui se constituent au milieu des plantations importantes et à leurs abords. Par exemple le nombre de microbes diminue rapidement dès que l'on pénètre dans un espace vert d'une certaine étendue.

Il faut rattacher à ces effets la possibilité de fixation par les plantes, dans une mesure déterminée, de certains gaz toxiques, et ce, en l'absence de toute modification lésionnelle des tissus végétaux.

Sur la superficie de 8.400 hectares de Paris, les espaces libres — dont les espaces verts ne sont qu'une catégorie — n'occupent que 9 % du sol, ce qui fait un mètre carré de superficie de jardin public par habitant à l'intérieur de Paris.

2) *La décentralisation*

Si les principales causes de la pollution atmosphérique des cités modernes et de leurs banlieues, et plus particulièrement de Paris et de l'agglomération parisienne, paraissent être au nombre de trois (foyers domestiques, foyers industriels, circulation automobile), elles doivent en réalité se ramener à une cause plus profonde, la surpopulation urbaine.

Paris est actuellement une ville tentaculaire, le nombre des habitants de la région parisienne augmente chaque année et un cinquième de la population de la France est concentré sur un centième de sa superficie.

Il apparaît donc que si l'on veut attaquer le mal que constitue la pollution atmosphérique, non seulement dans ses symptômes mais dans sa racine, c'est à la décentralisation qu'il faut tendre.

L'application des divers textes pris par le gouvernement depuis plusieurs années afin de favoriser la décentralisation des entreprises industrielles ne peut que contribuer heureusement à la diminution de la pollution atmosphérique. Malheureusement, un tel remède ne peut s'appliquer qu'à longue échéance.

En attendant une décentralisation de grande envergure, c'est par une répartition du zonage respectif des industries et des aires résidentielles que l'on atténuera la nocivité des foyers industriels, c'est ce que s'est efforcé de réaliser le plan d'urbanisme directeur de la Ville de Paris, approuvé par décret du 6 février 1967 et mis en révision à la même date.

En préservant les espaces verts actuels, en traçant de larges artères bordées d'arbres, en construisant les nouveaux immeubles en retrait et en les entourant de jardins, on amènerait un afflux d'air pur et c'est ainsi que ce péril insidieux que constitue la pollution atmosphérique, qui atteint l'habitant des villes dans son intégrité physique, pourrait être conjuré.

II — LÉGISLATION ET RÉGLEMENTATION FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE EN FRANCE

A) RAPPEL HISTORIQUE

La législation préventive et surtout répressive remonte au début du siècle ; nous citerons les textes les plus récents :

1) *La loi sur les établissements classés* (19 décembre 1917)

elle classe en effet les établissements dangereux, insalubres et incommodes en trois catégories (selon la nocivité de leurs émissions ou le simple danger que constitue leur présence). Il devient obligatoire, avant d'ouvrir un de ces établissements, soit de solliciter une autorisation du préfet, qui statue après enquête, soit de faire une déclaration à la préfecture.

2) *La loi Siegfried-Honnorat* (14 mars 1919), puis *la loi d'Urbanisme* (19 juillet 1924). La première a été remplacée par le *Code d'Urbanisme* (15 juin 1943), qui définit les différentes zones d'activité urbaine et leur emplacement respectif, prévoit des espaces verts, etc.

3) *La loi Morizet* (20 avril 1932), qui interdit « aux établissements industriels, commerciaux ou administratifs d'émettre soit des fumées, soit des suies, soit des poussières, soit des gaz toxiques ou corrosifs ». Des arrêtés préfectoraux s'efforcent de réglementer le rejet des

fumées industrielles : les exploitants d'établissements industriels doivent prendre toutes mesures d'ordre technique pour que la teneur en éléments insalubres des fumées de leurs foyers soient strictement limitée.

Telle est, dans ses grandes lignes, la situation législative jusqu'en 1961.

Ces lois, bonnes en principe, sont, en fait, d'une application difficile dans la pratique ; de plus, elles visent les seuls établissements industriels. Mal appliquées, elles font naître des difficultés.

Toutefois, ces prescriptions de portée limitée sont valables, même aujourd'hui, dans le cas de petites villes bien aérées.

Elles sont, par contre, absolument insuffisantes, même lorsqu'elles sont respectées, pour résoudre le problème des grandes concentrations urbaines surplombées par une masse de fumée tellement dense qu'elle finit par étendre son nuage bien loin des principaux points d'émission.

D'autre part, l'apparition et la vertigineuse multiplication des véhicules, dont le moteur brûle, imparfaitement, des gaz d'essence ou de gas-oil, a contribué à enrichir de déchets toxiques l'atmosphère déjà lourde des cités.

En outre, certains combustibles dont l'emploi se généralise, mais dont la combustion est souvent mal réglée, ajoutent encore à la nappes polluante leurs produits corrosifs.

B) LA LOI CADRE DU 2 AOÛT 1961

Une intervention des pouvoirs publics s'imposait.

Elle s'exprima par la loi-cadre du 2 août 1961. C'est une « loi-cadre ». Elle n'émet que des principes généraux. Sa portée réelle dépendra de l'application effective qui en sera faite.

1) Son objectif

Cette loi vise cette fois tous les objets susceptibles de contribuer à la pollution de l'atmosphère :

« Les immeubles, établissements industriels, commerciaux, artisanaux ou agricoles, véhicules ou autres objets mobiliers possédés, exploités ou détenus par toutes personnes physiques ou morales, devront être construits, exploités ou utilisés de manière à satisfaire aux dispositions prises en application de la présente loi, afin d'éviter les pollutions de l'atmosphère et les odeurs qui incommode la population, compromettent la santé ou la sécurité publique, ou nuisent

à la production agricole, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites. » (Art. I).

L'objectif du législateur est double :

- + protéger les personnes et les biens ;
- + supprimer toute cause de pollution, quelle qu'en soit la nature.

La loi envisage toutes les causes possibles de pollution et notamment : les immeubles en général, les véhicules à moteur, les sources de radioactivité.

Elle est « applicable » à tout le territoire français, conformément à l'article I du code civil. Elle ne se présente nullement comme une disposition d'exception ou de circonstance.

Elle prévoit une procédure de contrôle et de constatation des infractions.

Elle assortit de sanctions pénales la constatation de ces infractions.

Mais la plupart de ses articles ne seront effectivement applicables qu'après promulgation de décrets et d'arrêtés.

2) *Premiers principes généraux d'application*

Pris en application de la loi sus-visée, un décret du 17 septembre 1963 (J.O. du 21) donne des indications qui permettent de discerner selon quels premiers principes sera mise en œuvre la nouvelle législation.

Ce décret ne vise que les équipements de production de chaleur par combustion, donc le chauffage et non pas les autres sources de pollution.

a) *Mesures applicables à l'ensemble du territoire*

L'action portera :

+ d'une part, sur les appareils de combustion à installer : les appareils fabriqués, importés ou mis en vente sur le marché français devront répondre aux spécifications techniques fixées par arrêtés pris conjointement par le Ministère de l'Industrie et le Ministère des Affaires Sociales.

Ces arrêtés fixeront, pour chaque type d'appareil, les délais à l'expiration desquels la réglementation deviendra applicable. Ces délais ne peuvent être supérieurs à deux ans (art. 5).

Les appareils devront en outre être accompagnés d'une notice

très précise concernant leur fonctionnement et leur entretien et établie conformément aux instructions ministérielles.

+ d'autre part, sur les installations existantes et leur contrôle.

b) Zones de protection spéciale

Les zones urbaines où la pollution atmosphérique se révèle particulièrement grave seront classées en « zones de protection spéciale » par arrêtés interministériels. Naturellement, y seront renforcés les moyens de lutte : les appareils de combustion à installer seront conformes aux spécifications techniques déterminées pour la zone et les appareils déjà en place seront surveillés.

Ceux dont la puissance calorifique dépasse 1.000 thermies-heure devront être équipés de dispositifs fixes de prélèvement, de sorte que les agents de contrôle puissent aisément en vérifier le rendement.

Ceux qui, datant de plus de dix ans, n'ont pu faire l'objet de modifications techniques efficaces destinées à réduire la teneur en éléments polluants de leurs émissions, pourront être déclarés hors service par arrêté ministériel, dans un délai qui ne peut être inférieur à cinq ans.

Un personnel de chauffe qualifié devra être obligatoirement employé dans le cas d'installations assez importantes.

c) Appareils de chauffage visés

Soulignons encore que les appareils visés ici sont essentiellement : les foyers domestiques, les chaudières de chauffage central des immeubles à usage d'habitation, de commerce et de bureaux publics ou privés, ainsi, bien entendu, que les foyers industriels non classés « dangereux, insalubres ou incommodes ».

C) PREMIERES APPLICATIONS EN MATIERE DE CHAUFFAGE A PARIS

Paris, se révélant, à la suite des analyses d'atmosphère pratiquées par ordre du Préfet de la Seine, particulièrement saturé de fumées nocives, a été désigné comme la première ville dans laquelle seront appliquées les mesures indiquées ci-dessus. En voici les modalités et conséquences pour les usagers, telles qu'elles résultent des trois arrêtés du 11 août 1964 (JO. du 18).

1) Création de deux zones de protection spéciale

Elles ont été créées en raison de leur pollution « soufrée et particulaire » :

— la première (zone I) comprend les 1^{er}, 2^e, 3^e, 9^e, 17^e arrondissements et partie des 10^e, 16^e et 18^e ;

— la deuxième (zone 2) comprend le reste de Paris.

2) Mesures applicables dans ces zones :

Bien qu'elles ne concernent qu'une portion limitée du territoire français, il nous paraît intéressant de détailler ces prescriptions : les arrêtés signés par deux ou trois ministres (et non par le préfet) ont une valeur indicative pour l'ensemble des agglomérations auxquelles la nouvelle réglementation ne manquera pas d'être étendue dans un proche avenir.

a) Locaux visés

Il s'agit des locaux d'habitation, professionnels ; des établissements administratifs, industriels, artisanaux, commerciaux et autres, non visés dans la nomenclature des établissements classés, que ces locaux et établissements soient publics ou privés.

b) Combustibles

+ a été interdite immédiatement, dans les deux zones, la combustion de tous déchets, tourbes, lignites, des bois autres que les bois commercialement secs ;

+ est interdite, depuis le 1^{er} octobre 1964, dans la zone I et depuis le 1^{er} octobre 1967 dans la zone 2, l'emploi du :

— Fuel-oil léger, dans les foyers de puissance inférieure à 350 th/heure ;

— Fuel-oil lourd n° 1, dans les foyers de puissance inférieure à 500 th/heure ;

— Fuel-oil lourd n° 2 à base teneur en soufre (B T S), dans les foyers de puissance inférieure à 1.000 th/heure ;

— Fuel-oil lourd n° 2 autre que le B T S (interdit dans tous les cas).

+ Est interdit depuis le 1^{er} octobre 1967, dans la zone I, l'emploi des fuel-oils légers et lourds numéros 1 et 2 B.T.S., dans les foyers d'une puissance inférieure à 1.000 th/heure.

+ Sont autorisés, sous réserve du respect de spécifications techniques, depuis le 1^{er} octobre 1965, dans la zone I et depuis le 1^{er} octobre 1967 dans la zone 2, les charbons gras, agglomérés au brai ou non défumés, charbons flamants, tous combustibles solides contenant des matières volatiles supérieures à 15 %.

c) Chaufferies

Beaucoup d'émissions polluantes provenant du mauvais fonctionnement des appareils de chauffe, un effort particulier doit être

fait pour qu'ils fonctionnent correctement. Si les usagers voient augmenter les frais d'entretien, ils trouveront sans doute une compensation dans le rendement supérieur de leur installation.

L'ensemble de l'installation doit comporter les aménagements nécessaires pour son contrôle et son entretien.

Le contrôle annuel d'un spécialiste est obligatoire pour les chauffages de plus de 350 th/heure.

Les chauffages de plus de 500 th heure ne peuvent être conduites que par un chauffeur compétent.

d) *Limites d'émission de fumée, gaz et éléments polluants à respecter*

Les installations sont réalisées, la combustion réglée et, si nécessaire, des appareils régulateurs ou épurateurs y sont adjoints afin de maintenir l'émission polluante dans les limites prescrites.

Les dites limites sont fixées, elles aussi, par arrêté : le rapport poids de fumée thermique consommée ne doit pas dépasser un certain chiffre, les fumées ne doivent pas avoir une opacité trop importante, ni une teneur en anhydride sulfureux supérieure à 2 gr de soufre thermique.

L'indice pondéral, mesuré en gramme par thermique de combustible consommée dans un foyer, ne doit en aucun cas dépasser :

— dans la zone 1 : 0,6 g/th depuis le 1^{er} octobre 1966 ;

— dans la zone 2 : 1,2 g/th depuis le 1^{er} octobre 1967.

L'indice opacimétrique, mesuré avec l'appareil Bacharach, ne doit pas dépasser l'indice 6 :

— dans la zone 1 depuis le 1^{er} octobre 1964 ;

— dans la zone 2 depuis le 1^{er} octobre 1967.

Ces indices, fixés à titre provisoire, sont susceptibles d'être abaissés, compte tenu des résultats obtenus et des possibilités techniques.

Les installations thermiques, quels que soient les combustibles utilisés, ne doivent pas émettre de fumées nettement visibles, sauf de manière fugitive, notamment au moment de l'allumage.

Des instructions techniques sont parues récemment à l'usage des spécialistes chargés du contrôle des émissions.

D) INTERVENTION DU CONTRÔLE TECHNIQUE DE L'HYGIENE DE L'HABITATION

Depuis 1960, plusieurs campagnes d'action furent entreprises ; elles se voulaient surtout d'information et de conseil et consistaient en une visite et un contrôle des chauffages collectifs d'immeubles de la capitale. Jusqu'à ce jour, ce service a visité 7.000 chaufferies et

effectué plus de 2.000 interventions contentieuses vis-à-vis de propriétaires ou administrateurs de biens.

L'année 1965 ayant vu se compléter les textes précisant les obligations et les moyens de coercition mis à la disposition des services de contrôle par les pouvoirs publics, l'action du Contrôle technique de l'hygiène de l'habitation se trouve orientée vers la répression et a pour objet de constater les infractions aux arrêtés ministériels, d'une part, dans les zones de protection spéciale par des enquêtes systématiques et, d'autre part, en dehors de ces zones, à prescrire et poursuivre, dans le cadre des règlements, les mesures nécessaires lorsque des émissions anormales sont signalées. Cette orientation nouvelle a conduit à la création au sein du service d'une division spéciale chargée d'appliquer la nouvelle réglementation. Cette division, lors des enquêtes de contrôle des foyers, procède aux déterminations prévues par la législation, en particulier :

- mesure de l'indice d'opacité,
- mesure de l'indice pondéral.

Actuellement, des recherches sont pratiquées dans la perspective d'une connaissance plus approfondie des paramètres de la combustion en vue de réduire les émissions qui polluent l'atmosphère.

E) SURVEILLANCE DES ETABLISSEMENTS INDUSTRIELS

Le service des établissements classés de la Préfecture de Police dispose, pour lutter contre les émissions de fumées ainsi occasionnées, qu'il les ait constatées lui-même ou qu'elles lui soient signalées par des plaintes, des moyens que lui donne la loi du 19 décembre 1917 complétée par le décret du 1^{er} avril 1964, lorsqu'on se trouve en présence d'établissements classés (environ 30.000 dans le département de la Seine).

Par ailleurs, le décret du 19 août 1964 classe également en catégories 2 ou 3 les établissements industriels ou commerciaux dont les installations thermiques sont capables de consommer en une heure une quantité de combustible solide ou liquide représentant, en pouvoir calorifique inférieur, plus de 1.000 thermies.

Il est en outre signalé qu'en application de la loi du 19 décembre 1917, le Préfet de Police peut interdire le fonctionnement d'une activité industrielle classée lorsqu'elle a été installée sans autorisation ou sans déclaration. L'Administration ne manque pas de faire usage de cette possibilité lorsqu'elle est en présence d'une activité industrielle illicite gênant le voisinage par des émissions de fumées.

Enfin, il est à noter que l'art. 35 de la loi du 19 décembre 1917 permet de suspendre provisoirement l'activité d'établissements indus-

triels classés en cas d'inobservation persistante des conditions d'exploitation et que l'art. 29 de la même loi permet à l'Administration de prescrire les mesures nécessaires pour faire disparaître les inconvénients graves d'un établissement non classé et de suspendre provisoirement son activité en cas d'inexécution de ces mesures.

Toutefois, dans ces deux cas, la décision est soumise à l'appréciation du Ministre de l'Industrie.

Le Préfet de Police dispose, pour faire face aux obligations qui lui incombent en ce domaine, du Service d'Inspection des établissements classés, dont la compétence s'étend à l'ensemble du département de la Seine et dont l'effectif budgétaire est de 23 commissaires inspecteurs placés sous l'autorité d'un inspecteur général adjoint et d'un inspecteur général.

Ces fonctionnaires sont assistés par 16 sous-inspecteurs pour les opérations de surveillance et de contrôle.

L'effectif restreint de ce corps d'inspection ne permet malheureusement pas, comme il serait souhaitable, de procéder à un dépistage systématique des établissements polluant l'atmosphère.

Il en est de même dans les autres départements, où les préfets disposent du service des établissements classés pour tenter de faire respecter la loi.

Au terme de cette étude sur les moyens de répression, soulignons que, au cours de travaux parlementaires, un certain nombre de députés et de sénateurs ont mis l'accent sur la nécessité d'aider, par des mesures fiscales appropriées, les industriels qui investissent des sommes importantes pour équiper leurs usines d'installation destinées à remédier à la pollution dont elles sont la source.

F) GAZ D'ÉCHAPPEMENT DES VÉHICULES AUTOMOBILES

La pollution par les gaz d'échappement des moteurs à combustion interne des véhicules automobiles est réprimée sur la voie publique par les services de police, en application des articles R 69, R 172 et R 200 du code de la route et des arrêtés ministériels des 12 novembre 1963, 28 juillet 1964, 15 février 1965 et 20 janvier 1967.

En particulier, l'art. R 69 dispose que les véhicules automobiles ne doivent pas émettre de fumées pouvant nuire à la sécurité de la circulation ou incommoder les autres usagers.

De son côté, l'arrêté du 12 novembre 1963 du Ministre des Travaux publics et des Transports stipule que les moteurs des véhicules automobiles doivent être conçus, construits, réglés et entretenus, alimentés et conduits de façon à ne pas provoquer d'émissions

de fumées visibles ou incommodantes. De plus, les véhicules neufs équipés d'un moteur à combustion interne feront l'objet d'une mesure de l'opacité de la fumée par un laboratoire agréé par le ministre des Travaux publics et des Transports.

Les véhicules en infraction font l'objet de procès-verbaux de contravention et doivent être présentés dans un centre de contrôle, équipé d'appareils de mesure agréés, pour y subir un examen éventuellement suivi d'une contre-visite. Pendant l'année 1966, 3.442 procès-verbaux ont été relevés et 6.386 véhicules ont été contrôlés par les services techniques spécialisés. L'indice d'opacité de fumées à ne pas dépasser par les divers véhicules est compris entre 40 et 80 unités Hartridge et la quantité totale d'hydrocarbures contenue dans les gaz de carter est limitée à 0,15 % du poids du combustible consommé.

En ce qui concerne la pollution par l'oxyde de carbone émis par les moteurs à essence, des campagnes sont périodiquement organisées dans un but d'information du public. Au cours de ces campagnes, une méthode simple de réglage des carburateurs au ralenti et à vide, destinée à limiter à une faible valeur le taux de l'oxyde de carbone dans les gaz d'échappement, a été appliquée avec des résultats très appréciables aux véhicules présentés par leur propriétaire.

Ainsi, la pollution de l'air par les gaz d'échappement des véhicules automobiles devrait régresser au cours des prochaines années.

L'efficacité de divers procédés techniques et d'appareils anti-pollution pour les véhicules à moteur est maintenant prouvée, leur application réglementaire apportera certainement l'amélioration souhaitée.

Telle est, dans ses grandes lignes, la législation française actuelle en matière de pollution atmosphérique. S'adaptant à l'évolution des techniques, elle représente, malgré ses lacunes, un grand progrès. Le recul du temps n'est pas suffisant pour en juger les effets. Appréciations cependant à sa juste valeur l'effort du législateur.

Nous avons longuement insisté sur la réglementation parisienne. Souhaitons qu'une réglementation analogue s'étende à d'autres villes de province dont l'atmosphère est presque aussi polluée.

En ce qui concerne la pollution, il ne saurait y avoir ni accusateur, ni accusé. Chacun est en effet, tour à tour, pollueur et victime de la pollution.

C'est pourquoi il est d'une extrême importance que l'usager participe à cette lutte contre la pollution par une discipline volontaire.

DANS QUELQUES AUTRES PAYS D'EUROPE

INTRODUCTION

A quelques exceptions près, la législation concernant la lutte contre la pollution de l'air dans les différents pays n'est pas plus avancée que la législation française.

Dans la plupart des cas, les premières mesures ont été prises il y a très longtemps et les lois qui restent en vigueur ne tiennent aucun compte de l'énorme développement qui est intervenu depuis, ni des nouveaux types de polluants et des nouvelles sources de pollution, telles que l'automobile et les installations de chauffage. Certains textes ne prévoient rien d'autre que le paiement d'indemnités pour les dommages causés par la pollution de l'air. Il apparaît donc nécessaire, dans de nombreux pays, d'établir une législation efficace qui impose des mesures préventives appropriées et qui fixe la concentration maximale admissible des divers polluants.

ANGLETERRE

1) *Fumées provenant des établissements industriels et des ménages*

Aux termes du *Clean Air Act* de 1956, dont l'application relève des autorités locales, l'émission de fumée onaque est un délit chaque fois qu'elle dépasse une durée limite fixée par le ministre du Logement et de l'Administration locale.

Le *Clean Air Act* interdit également la mise en service de tous foyers, autres que les petits foyers destinés principalement à l'usage domestique, qui ne pourraient pas, autant que possible, fonctionner en continu sans émettre de fumée lorsque le combustible utilisé est du type qui convient.

Toute autorité locale peut, par voie d'arrêté approuvé par le ministre, déclarer tout ou partie de son territoire « zone d'interdiction des fumées » : seuls des appareils agréés, des combustibles approuvés ou les deux peuvent alors être utilisés à l'intérieur de ces zones.

2) *Particules solides*

Le *Clean Air Act* rend obligatoire l'emploi de tous moyens pratiques pour réduire le plus possible l'émission de poussières par la cheminée d'un foyer, exception faite des petits foyers essentiellement destinés à l'usage domestique. En outre, aucun foyer ne peut être utilisé pour brûler soit des combustibles pulvérisés, soit du combustible solide sous tout autre forme à raison d'une tonne par heure ou plus, s'il n'est pas équipé d'un dispositif destiné à retenir les poussières qui aura été agréé par l'autorité locale.

3) *Circulation routière*

Les Motor Vehicles Regulations de 1951 exigent que tout véhicule à moteur soit construit, entretenu et utilisé de façon à empêcher autant que possible l'émission de fumée et de vapeur visible. La non-observation de ces règlements est un délit. Les poursuites sont du ressort de la police. Le Clean Air Act ne s'applique pas aux automobiles.

4) *Polluants provenant des usines de produits chimiques et autres installations industrielles*

C'est l'Askali Act de 1906 qui réglemente l'émission de gaz nocifs par certaines industries. A la différence du Clean Air Act, l'application de cette loi ne relève pas des autorités locales, mais des Akali Inspectors, qui sont des fonctionnaires nommés par le ministre du Logement et de l'Administration locale. La loi énumère les fabrications et les gaz nocifs ou incommodants auxquels elle s'applique. Les fabrications visées doivent être agréées chaque année.

ALLEMAGNE

Une loi du 21 juin 1869 donne pouvoir aux autorités sanitaires de prendre à l'égard de tout nouvel établissement industriel qui s'installe les mesures propres à empêcher que la population du voisinage ne soit incommodée. En cas de procès, le contrevenant est tenu de payer des dommages-intérêts pour le préjudice causé ou d'éliminer les agents délétères incriminés. Il est généralement admis qu'aujourd'hui cette loi est absolument inefficace.

BELGIQUE

Il existe un règlement général qui fixe la hauteur des cheminées par lesquelles s'échapperont des fumées contenant du gaz sulfureux. La hauteur prescrite dépend de la concentration en gaz sulfureux et de la température des fumées.

DANEMARK

Il n'existe pas de règlements spéciaux concernant la lutte contre la pollution de l'air. La législation générale interdit les fumées, poussières, odeurs désagréables pouvant incommoder ou mettre en danger les personnes ou causer des dommages aux biens.

La Direction de la Santé, qui relève du Ministère de l'Intérieur, peut poursuivre les contrevenants à cette loi de portée très vaste, mais peu précise.

PAYS-BAS

Aucune municipalité ne peut accorder l'autorisation de construire une usine sans consulter au préalable l'Inspecteur régional des bâtiments et chantiers. Si l'inspecteur en chef estime qu'il existe un risque exagéré de pollution de l'air, il propose une solution qui peut être alors imposée par l'autorité locale.

SUEDE

Il n'existe pas de prescriptions légales en ce qui concerne la pollution atmosphérique. Toute personne ayant subi un préjudice du fait de la pollution de l'air peut intenter un procès aux responsables et réclamer des dommages-intérêts, ainsi que l'institution de mesures propres à réduire la pollution. L'autorité sanitaire locale peut interdire toutes opérations industrielles génératrices de polluants manifestement dangereux pour la santé. Des commissions ont été nommées pour étudier la nécessité de règlements plus stricts.

■
* *

Il n'est pas possible d'éviter totalement la pollution, mais la situation pourrait être améliorée bien davantage que ce n'a été le cas jusqu'ici. Il faudra pour cela des lois mieux conçues et plus rigoureusement appliquées, un vaste effort de recherche et de mise au point et une opinion plus résolue à obtenir satisfaction. Cependant, les conditions varient à tel point d'un pays à l'autre, d'une localité à l'autre, qu'il est impossible de concevoir un ensemble-type de mesures préventives qui puisse donner partout entière satisfaction.

III — ORGANISMES FRANÇAIS ET INTERNATIONAUX DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION

ORGANISMES FRANÇAIS

Outre les services publics (Ministère des Affaires Sociales, Ministère de l'Industrie, Préfectures, Laboratoires d'Hygiène) qui élaborent la législation et la réglementation et s'efforcent de les faire appliquer, il convient de citer des organismes privés, qui, en France, participent à la lutte contre la pollution atmosphérique.

L'un des principaux organismes est représenté par l'*Association pour la Prévention contre la Pollution Atmosphérique* (A.P.P.A.), dont le siège est à Paris et qui comprend différentes commissions scientifiques et techniques.

Fondée en 1958, l'A.P.P.A. a été reconnue d'utilité publique par décret en date du 9 avril 1962. Depuis sa fondation, articles de presse, conférences, interviews dans les grands journaux d'information, se sont succédés. Parallèlement, l'Association a participé avec d'autres organismes techniques ou scientifiques à des journées d'information et de travail en France ou à l'étranger. Sa revue rend compte de ses activités en même temps qu'elle publie des articles originaux dans toutes les disciplines intéressées par la pollution.

Postérieurement à la fondation de l'A.P.P.A., deux nouveaux organismes privés se sont constitués :

1) En septembre 1960, le *Comité d'Action Technique* contre la *Pollution Atmosphérique*, qui réunit les représentants les plus qualifiés de l'industrie et des groupements professionnels couvrant les divers procédés de chauffage. Les attributions de ce comité sont, en particulier, l'étude des combustibles à recommander ou à éliminer dans les domaines respectifs d'emploi, l'étude des appareils et des techniques d'utilisation les mieux adaptés au chauffage domestique, l'étude des problèmes soulevés par l'équipement et le fonctionnement des foyers et équipements industriels, ainsi que les problèmes plus particuliers à diverses industries telles que la sidérurgie, les chaux et ciments, les industries chimiques.

Le comité exerce sa tâche dans le cadre exclusivement technique qui vient d'être défini. L'A.P.P.A. procède aux études relatives à la pollution atmosphérique, établit le diagnostic des phénomènes et joue un rôle d'information dans l'acceptation la plus large, en particulier pour la publication de sa Revue. Ces deux Associations doivent donc s'appuyer réciproquement.

2) Le second comité a été créé en juin 1961 sur l'initiative de la construction automobile, dans le cadre de la lutte contre la pollution atmosphérique, c'est le *Comité National pour l'Amélioration de la Carburantion*, qui s'est assuré le concours des techniciens les plus qualifiés de l'automobile, du pétrole et des usagers de la route.

Le laboratoire de l'U.T.A.C. (Union Technique de l'Automobile et du Cycle) étudie à Cachan tous les problèmes posés par la carburantion et apporte ainsi une aide importante à la Commission technique du Ministère des Travaux publics et des Transports.

De son côté, l'A.P.P.A. a décidé, en juin 1961, de créer une troisième Commission dénommée : *Comité d'Etudes des Effets de la Pollution Atmosphérique sur les cultures et les animaux*. Cette commission réunit les personnalités les plus éminentes du monde agricole, forestier et vétérinaire. Elle a réparti l'étude de ses problèmes en trois sous-comités :

— le sous-comité « Faune » ;

- le sous-comité « Flore » ;
- le sous-comité « Espaces verts et Forêts ».

Si l'établissement des seuils de toxicité que poursuit cette Commission s'avère relativement facile pour les animaux, il n'en est pas de même pour la flore. Mais les recherches auxquelles celle-ci donne lieu affirment l'action de l'A.P.P.A., car les végétaux, plus sensibles que l'être humain aux effets de la pollution atmosphérique, permettent de déceler ou de détecter des inconvénients ou des troubles avant même qu'ils aient porté atteinte à la santé de l'homme.

Parallèlement aux travaux des trois commissions de l'A.P.P.A., celle-ci, pour étendre et prolonger son action sur l'ensemble du territoire, a créé des établissements, dénommés *Comités régionaux*, à Paris et dans les villes de province. Ces établissements, au nombre de douze, sont les suivants : Paris, Lyon, Saint-Etienne, Nantes, Toulouse, Strasbourg, Arras, Nice, Bordeaux, Marseille, Rennes, canton de Saint-Maur (Seine).

Enfin, à Rouen et à Versailles, fonctionnent deux associations filiales. Des contacts permanents sont établis avec ces comités régionaux, dont les Présidents se réunissent périodiquement à Paris pour définir ce qui peut localement être fait dans chaque comité pour lutter plus efficacement contre la pollution de l'air.

La première tâche de ces comités régionaux est d'établir progressivement la cartographie de la pollution en France, en constituant des réseaux de détection dans lesquels des prélèvements et des analyses d'air sont faits journellement. Ces relevés serviront à l'établissement de statistiques qui pourront permettre aux autorités préfectorales d'édicter, en parfaite connaissance de cause, les réglementations nécessaires en vue de la protection de la santé de leurs administrés.

C'est dès l'automne 1961 que l'action a été menée à Paris sur une échelle importante, puis étendue à l'ensemble de la ville, afin de diffuser au plus grand nombre la connaissance et l'intérêt des enquêtes.

Un effort particulier de prospection a été fait dans trois périmètres restreints de Paris, où il a été procédé à la visite systématique de tous les immeubles pour reconnaître ceux qui étaient équipés du chauffage central. Des commissions ont examiné la grande majorité des chaufferies dont la consommation de combustible dépassait 15 tonnes par an.

Les poêles domestiques ont également été visités. Il y a lieu de reconnaître que les enquêteurs ont reçu le meilleur accueil auprès des propriétaires, installateurs, exploitants et que, lors des enquêtes

de contrôle, il a été constaté que les conseils donnés étaient largement suivis, entraînant souvent des travaux importants.

En dehors de ces associations privées, un Centre de recherches sur la pollution atmosphérique a été créé dans le cadre de l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (I.N.S.E.R.M.). Des études de la pollution sur tout le territoire sont entreprises, l'I.N.S.E.R.M. les centralisant et interprétant les résultats. Par ailleurs, ce Centre effectue des travaux par expérimentation sur l'animal, notamment sur des rats placés dans diverses atmosphères artificielles de polluants gazeux.

IV — ORGANISMES INTERNATIONAUX

I) EFFORT ACTUEL DES ORGANISATIONS INTERNATIONALES

a) *Organisation mondiale de la Santé*

D'une part, les travaux entrepris par l'O.M.S. se sont orientés vers l'éducation du personnel de recherche et de contrôle, l'échantillonnage et l'analyse des polluants, l'usage d'appareils de contrôle dans les industries, le développement d'une législation appropriée et la diffusion d'informations sur la pollution atmosphérique. D'autre part, l'O.M.S. a pris et continue à prendre dans la mesure de ses possibilités budgétaires, d'autres initiatives. L'Organisation entreprend des travaux dans les domaines de la recherche, des études sur la terminologie, la standardisation, l'uniformisation des normes, la diffusion des résultats des travaux scientifiques, afin de mieux connaître les effets de la pollution atmosphérique sur la santé de l'homme et de développer des mesures de contrôle adéquates en facilitant la collaboration nécessaire entre les pays intéressés.

b) *Organisation de Coopération et de Développement Economiques*

En ce qui concerne la pollution atmosphérique, les recherches effectuées jusqu'à présent ont principalement porté sur la coordination des méthodes de mesure ; différents polluants ont été étudiés, tels que matières sédimentables, fumée, anhydride sulfureux, anhydride sulfurique, hydrocarbures et fluorures. Ces recherches préliminaires doivent se poursuivre par une étude plus générale de la répartition de la pollution en fonction des différents facteurs pouvant influencer sur cette répartition.

c) *Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier*

L'action de la Haute Autorité de la C.E.C.A. dans le domaine de la pollution atmosphérique résulte essentiellement de l'aide qu'elle a apportée à la réalisation de diverses recherches en matière de lutte

contre les poussières en sidérurgie : en fait, en cours de réalisation de programme, ces recherches se sont étendues à certains gaz et certaines fumées.

d) *Commission économique pour l'Europe*

La Commission économique pour l'Europe s'occupe de divers aspects de la pollution de l'air par le truchement de ses comités techniques. C'est ainsi que le comité du charbon traite de la pollution de l'air dans les domaines suivants :

- pollution de l'air par les installations de fours à coke,
- combustibles solides sans fumée,
- déchets produits par les industries charbonnières.

Un sujet d'étude ultérieur concerne la possibilité de diminuer la pollution de l'air par l'emploi de combustibles solides sans fumée.

Le comité de l'énergie électrique étant d'avis que la pollution de l'air par la combustion de combustibles contenant du soufre doit être étudiée en détail, a entrepris une étude de certains problèmes concernant le plan, la construction et le fonctionnement de centrales thermiques.

Dans le domaine des transports, le comité de transport intérieur traite de deux sources de pollution :

- gaz et fumées s'échappant des carters par les tuyaux d'échappement ;
- les fumées d'échappement.

e) *Le Comité Européen de recherche sur la protection des populations contre les risques de toxicité à long terme, dénommé (EUROTOX)* et créé en 1954, étudie les risques dus aux agents exogènes et préconise des moyens de protection. Différentes conférences sont organisées.

f) *Le Conseil de l'Europe* se préoccupe également de ces problèmes.

II) *PROJET DE COOPERATION EUROPEENNE*

En fait on peut distinguer la coopération réalisable :

- dans le domaine des études et des recherches,
- dans celui de la standardisation des méthodes,
- dans celui de la documentation et de l'information,
- dans celui de la législation.

a) *Etudes et recherches*

La collaboration dans ce domaine peut concerner n'importe quel aspect du problème de la pollution atmosphérique, mais une attention particulière doit être accordée à l'étude des effets de la pollution atmosphérique sur la santé de l'homme.

Les contacts entre chercheurs de différents pays peuvent permettre de dégager un plan de travail qui, en utilisant les résultats de recherches partielles mais complémentaires, peut fournir, beaucoup plus rapidement que dans le cas de chercheurs ou de centres d'études isolés, des données de base sur des questions comme celle des effets de la pollution atmosphérique sur la santé de l'homme.

Une solution qui pourrait être acceptée par tous, serait de créer un comité européen de coordination, composé de représentants des gouvernements intéressés. Les différentes organisations intergouvernementales existantes participeraient aux travaux de ce comité. La tâche de ce dernier serait d'examiner dans quelle mesure et sous quelle forme il est souhaitable d'entreprendre de nouvelles activités ou d'intensifier les études déjà en cours concernant la pollution atmosphérique.

b) *Coordination des méthodes et appareils de mesures*

Une coopération efficace a déjà été mise en œuvre par divers organismes intergouvernementaux et privés, mais le problème est très vaste et, avant de pouvoir standardiser ou normaliser les méthodes et appareils de mesures intéressant les divers domaines de la pollution atmosphérique, il est nécessaire de confronter ceux actuellement utilisés dans les différents pays, en tenant compte des recommandations déjà faites.

Le rôle du Conseil de l'Europe pourrait être de charger des groupes d'experts européens travaillant en collaboration, avec le Comité de coordination, de faire l'inventaire des résultats obtenus, de déterminer les études à faire ou à poursuivre, ainsi que les organismes les mieux placés pour les réaliser.

Les préconisations pour l'utilisation des méthodes et d'appareils sélectionnés et ensuite les normes soumises aux organismes chargés de la normalisation seraient rendues publiques et communiquées aux instituts européens pour leur permettre d'utiliser les mêmes méthodes et comparer leurs résultats.

c) *Documentation et Information*

La condition sine qua non d'une coordination des études et de la lutte contre la pollution atmosphérique est un échange rapide et complet d'une documentation tenue à jour. Cette documentation devrait sans doute couvrir séparément tous les aspects fondamentaux du problème, y compris la législation.

Il faudrait créer un centre d'information et de documentation dans le cadre du Conseil de l'Europe.

Ce Centre aurait pour mission de recueillir, auprès des pays membres du Conseil de l'Europe, tous les renseignements susceptibles de servir la lutte contre la pollution de l'air, du point de vue scientifique, médical, technique, pédagogique, juridique, économique et social.

d) *Législation*

Un domaine où la coopération serait souhaitable, mais limitée, est celui de la législation dont nous avons vu l'insuffisance.

En effet, dans ce secteur également, l'œuvre d'un Comité intergouvernemental pourrait se révéler utile à la promotion et à la coordination des diverses initiatives et activités d'intérêt commun.

V — INFORMATION ET ÉDUCATION DU PUBLIC SUR LES DIVERS PROCÉDÉS DE LUTTE ET LEUR UTILISATION

La nécessité d'une lutte qui se heurte trop souvent à une certaine indifférence, et même à une résistance trop fréquente de certains milieux, n'est pas contestable.

Il est certain qu'il y lieu de faire des efforts et d'adopter des solutions techniques susceptibles de porter remède à une situation qui devient de jour en jour plus critique.

Mais ces solutions risquent de ne pas être compensées par des profits matériels immédiats ou même lointains pour les responsables, ce qui est pour eux un facteur objectif de résistance. Ce conflit d'intérêt qui les oppose souvent à la population atteinte par la pollution atmosphérique ne doit pas être sous-estimé quand il s'agit de mettre au point des mesures réglementaires.

Il est donc d'autant plus urgent de préciser les objectifs que doivent poursuivre l'information et l'éducation du public appelé à lutter indirectement ou même directement contre tous les facteurs d'insalubrité au milieu desquels il vit.

Un premier objectif consiste à faire connaître les procédés qui, dans l'attente de solutions plus radicales et plus efficaces, permettent aux usagers et à une partie importante de la population de réduire la diffusion de polluants en provenance des sources secondaires (véhicules automobiles et installations de chauffage).

Le second objectif comporte la création d'un climat d'alerte qui pousse à réclamer énergiquement des mesures contre la pollution soit par un encouragement à la recherche de solutions techniques, soit par des réglementations législatives ou fiscales rendant obligatoires les dispositions anti-polluantes, même dans le cas où elles lèsent des intérêts particuliers.

C'est vers la réalisation de ces objectifs que nous devons tendre maintenant.

1) ORGANISMES NATIONAUX EXISTANTS

En France, plusieurs organismes sont spécialisés pour l'étude technique et scientifique de la pollution et pour la diffusion des informations et des moyens de lutte.

Ces organismes sont :

— l'Association pour la prévention de la pollution atmosphérique, reconnue d'utilité publique qui groupe de hautes personnalités du monde médical et des milieux industriels ou administratifs. Elle étend son action dans plusieurs régions de la France, grâce à ses dix établissements régionaux qui travaillent avec les autorités locales.

— le Comité d'action technique contre la pollution atmosphérique et son centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique.

— le Comité national d'action pour l'assainissement de l'atmosphère, qui étudie tous les problèmes relatifs à la carburantion.

2) ORIENTATION

Sous ce titre, il faut comprendre la question de savoir quels objectifs on doit rechercher et quels milieux il faut chercher à atteindre en fonction des objectifs envisagés. Certains, en effet, intéressent largement l'opinion publique, d'autres intéressent plus particulièrement, à l'exclusion des autres, certains groupes sociaux, parmi lesquels il convient de citer : usagers de l'automobile, médecins, étudiants, ingénieurs, éducateurs, citadins, ruraux, législateurs, etc... Certains, enfin, concernent plus particulièrement les pouvoirs publics.

D'une manière générale, il apparaît qu'il faut informer objectivement et ne pas craindre le danger d'alarmer qui est beaucoup moins probable que le danger d'indifférence. Ce qu'il est convenu d'appeler le grand public devrait avoir une connaissance suffisante du problème pour se sentir concerné à la fois en tant que générateur de pollution et en tant que consommateur de l'air vicié qui nuit à sa santé. Suivant la place occupée par chacun dans la société, il semble souhaitable que l'information soit différenciée.

En particulier, il y a lieu "d'informer de façon sélective des groupes sociaux qui, par vocation, ont une activité dirigée vers :

a) la santé de l'homme.

Ces groupes sont plus spécialement concernés par le combat contre la pollution.

b) les activités législatives et réglementaires.

Les activités de planification (plans économiques et sanitaires aménagement du territoire, urbanisme, etc...).

Les activités administratives centrales ou locales.

Les activités industrielles et commerciales.

Ces groupes peuvent aider à limiter la pollution, soit par des actions de réglementation, soit par des études et des améliorations techniques.

En outre, une information appropriée doit être fournie aux milieux d'éducateurs et d'enseignants pour les persuader du rôle qu'ils ont à remplir et pour leur fournir la documentation nécessaire à l'exécution de leur tâche.

C'est, en effet, dès l'école primaire que les enfants doivent connaître les problèmes de la pollution et être familiarisés avec eux, ainsi qu'il est fait avec les dangers de la circulation. Cet enseignement doit être poursuivi dans les écoles techniques et les établissements secondaires au même titre que les éléments d'hygiène qui sont inculqués aux élèves.

Enfin, il doit être répandu dans toutes les écoles supérieures qui préparent à des situations directement ou indirectement intéressées par les causes de la pollution ou par les remèdes à y apporter. Dans ce groupe il convient de citer: les facultés de médecine, de pharmacie, des sciences, les écoles de santé, d'ingénieurs, d'architectes, ainsi que les écoles techniques de chauffage et les cours de perfectionnement divers de l'industrie.

3) MOYENS D' ACTIONS

Avant d'envisager l'avenir, il faut examiner dans la situation actuelle les appuis dont on dispose et les moyens sur lesquels il est possible de s'appuyer pour réaliser l'extension des campagnes.

Ces appuis fondamentalement identiques dans tous les pays peuvent se classer comme suit :

a) L'ETAT

Le gouvernement est appelé à prendre, soit spontanément, soit sous l'action de l'opinion publique, les mesures nécessaires pour éviter ou pour remédier à la pollution atmosphérique.

Il est utilement alerté par les parlementaires qui sont en contact avec les électeurs directement atteints par ce fléau. C'est également au même niveau de l'Etat, que les organismes nationaux de lutte sont

en mesure d'intervenir. Les interventions des uns et des autres doivent s'exercer d'une manière continue.

En France, l'Etat est intervenu par des textes législatifs et réglementaires. La loi du 2 août 1961 vise à prévenir autant que possible les actions polluantes avant de les réprimer. Elle constitue un texte-cadre qui ne peut prendre son plein effet que par de nouveaux décrets d'application, dont le premier a vu le jour le 17 septembre 1963, suivi d'une circulaire aux préfets.

Par ailleurs, un arrêté du 12 novembre 1963, réglant les fumées produites par les automobiles, a été pris par le Ministre des Travaux Publics.

Enfin l'A.P.P.A. et le C.I.T.E.P.A. sont représentés auprès des divers ministères dans des commissions spécialisées.

b) COLLECTIVITES et ORGANISMES PUBLICS et SEMI-PUBLICS

Les campagnes contre la pollution peuvent être appuyées par les représentants des pouvoirs locaux et par des contacts avec les dirigeants de ces organismes.

En France, de nombreuses municipalités apportent leur appui aux campagnes entreprises pour l'amélioration de la situation. Dans le département de la Seine, deux arrêtés (octobre 1961 et juillet 1962) ont servi de prélude aux textes législatifs récents.

c) ACTION MIXTE de L'ETAT ou des AUTORITES LOCALES avec les ORGANISMES PRIVES.

C'est dans ce secteur qu'apparaît l'action la plus efficace. En effet, la composition des différentes associations assure la collaboration des diverses administrations officielles et des groupements dûs à l'initiative privée.

Au cours de ces réunions, qui groupent des représentants de l'Etat, des communes et des diverses professions, s'élaborent les textes de prévention ou de défense, et prennent naissance les mesures préconisées par les associations et adoptées par les particuliers.

A Paris, des campagnes d'information, des visites d'installations de chauffage entreprises par la direction de l'habitation de la Préfecture de la Seine dans les onzième et seizième arrondissements, avec le concours d'organismes semi-publics et privés, ont eu un plein succès.

4) — MOYENS D'INFORMATION et D'EDUCATION

L'information constitue un des éléments essentiels de la connaissance du problème et de la lutte contre la pollution. Aussi, est-ce sur ce point que l'attention doit être spécialement attirée. Mais, cette

information doit être dirigée suivant les objectifs à atteindre et selon les individus ou groupes d'individus auxquels elle s'adresse.

Par conséquent, sous les réserves ci-dessus, il convient d'employer tous les moyens qui peuvent être énumérés :

- a) Revues, journaux, périodiques, campagne de presse,
- b) Emissions de radio et de télévision,
- c) Bibliothèques, photothèques, cinémathèques,
- d) Stands dans les foires, expositions.
- e) Exposés et discussions publiques,
- f) Conférences, symposia, congrès.

a) *REVUES, JOURNAUX, PERIODIQUES, CAMPAGNES de PRESSE.*

Ce mode d'information fait une utile publicité quand le problème est d'actualité, ou touche les intérêts des lecteurs, à condition que les informations soient présentées sous une forme appropriée.

Les quotidiens peuvent jouer un rôle important pour l'information du grand public. Des articles de journaux rédigés sous une forme adaptée et compréhensible à tous, ont des effets que les revues spécialisées ne sauraient atteindre. Il est, toutefois, indispensable, pour obtenir la collaboration éclairée des populations, que les articles présentent un caractère objectif qui doit leur être donné par des services compétents. Ceux-ci doivent mettre à la disposition de la presse des rapports sur les mesures prises par les autorités ou par les initiatives privées dans ces différentes industries. Des exposés sur les difficultés rencontrées et sur les succès obtenus seront communiqués aux rédacteurs de journaux ou revues.

En France, l'A.P.P.A. édite une revue trimestrielle de haute tenue scientifique, spécialisée sur cette question. Trimestriellement, elle publie des articles qui intéressent plus particulièrement les chercheurs, ingénieurs et techniciens, médecins, biologistes, etc... Elle comporte une rubrique « Informations » et une rubrique « Documentation » importante qui signale, avec des compte-rendus résumés, la plupart des études ou articles parus tant en France qu'à l'étranger sur la question.

Tous les journaux de Paris, et spécialement ceux à grand tirage, ont consacré des articles, et des enquêtes, à la pollution atmosphérique. Des revues et des périodiques de grande diffusion ont consacré des reportages au même sujet.

Grâce à l'action des comités régionaux de l'A.P.P.A., des journaux de province ont rendu compte des travaux effectués sur la question et ont traité des problèmes et des remèdes à apporter à leur situation dans les zones d'influence.

b) *EMISSIONS de RADIO et de TELEVISION.*

Quelques émissions françaises ont traité du sujet. Mais, d'une manière générale, il ne semble pas, dans notre pays comme dans les autres pays, qu'une place suffisante soit réservée à des émissions destinées à éveiller l'attention du public sur l'importance de la cause de l'air pur.

Il y a lieu de regretter cette situation, en raison de la puissance de ce genre d'information et des résultats qu'on pourrait en obtenir.

c) *BIBLIOTHEQUES, PHOTOTHEQUES, CINEMATHEQUES*

Ces éléments de documentation jouent un rôle important et des efforts sérieux sont faits pour les développer. Mais, en raison de leur coût élevé, ils nécessitent l'intervention d'appuis financiers pour obtenir des prêts.

En France, plusieurs films d'une durée de 25 à 30 minutes ont été réalisés, ainsi que quelques courts métrages, dont la portée éducative est incontestable.

d) *STANDS dans les FOIRES, EXPOSITIONS*

Les participations à ces manifestations sont assez rares.

En collaboration avec la préfecture de la Seine et divers organismes privés, un pavillon sur le thème « Air pur dans le ciel de Paris » a été réalisé à la Foire de Paris en 1963.

Sous le patronage du ministère des Affaires Sociales, une exposition itinérante s'est installée, il y a quelques temps, dans plusieurs villes de France, choisies en raison de l'importance de la pollution qui y règne. Cette exposition, qui comportait la présentation de photos, de panneaux publicitaires, de films de cinéma, séjournra plusieurs jours dans un local bien placé dans chaque ville, où elle recut l'appui des autorités locales, des services d'hygiène et de la presse locale.

e) *EXPOSES et DISCUSSIONS PUBLIQUES*

Dans cette catégorie, on peut ranger les rencontres directes et les rencontres organisées en utilisant des procédés d'information, tels que les séances de projections cinématographiques avec débats, des expositions suivies de discussions, enfin des conférences de presse lors de la préparation de manifestations, ou à titre de compte-rendu de leurs résultats.

Parmi les procédés de rencontres directes, il faut retenir :

- les colloques de groupes sous la conduite d'un animateur ;
- les discussions publiques entre experts, l'auditoire ayant ou non la faculté d'intervenir ;
- les conférences publiques avec possibilités offertes aux assistants de poser des questions ;

- les réunions organisées pour toucher une opinion publique à un niveau élevé.

f) *CONFERENCES, SYMPOSIA, CONGRES.*

En France, plusieurs conférences ont eu lieu depuis 1958. En dehors des journées d'information, un congrès national, tenu à Paris en 1960, a réuni 700 congressistes français et étrangers qui ont participé à 45 communications.

5) — *VUES D'AVENIR*

Beaucoup s'accordent pour reconnaître l'absolue nécessité des échanges d'information et de documentation internationaux et souhaitent qu'un centre permanent d'information et de documentation soit créé au moins sur le plan européen.

Le Conseil de l'Europe a suggéré que ce centre aurait pour mission de recueillir, auprès des pays membres du Conseil de l'Europe, tous les renseignements susceptibles de servir la lutte contre la pollution de l'air, du point de vue scientifique, médical, technique, pédagogique, juridique, économique et social.

Il devrait remplir les tâches ci-après :

a) publier un bulletin bilingue trimestriel qui utiliserait les résumés et analyses de toutes les publications, articles, compte-rendus de réunion transmis au centre ;

b) établir un fichier des différentes publications ;

c) établir un fichier des différentes organisations s'occupant de la pollution de l'air ;

d) préparer des documents à l'intention :

— des journalistes, en vue de l'information du grand public ;

— des consommateurs, pour leur donner des conseils sur la meilleure façon d'utiliser les appareils ou les installations qui risquent, par un emploi incorrect, de polluer l'atmosphère ;

e) constituer un centre d'information audio-visuelle (cinéma-thèque, photothèque, etc...)

Etablir des documents publicitaires (tels que des affiches) et rédiger des questionnaires d'enquête pour faire ensuite la synthèse des réponses ;

Constituer une bibliothèque.

f) apporter son appui aux organismes nationaux pour l'organisation des conférences, congrès et expositions.

g) enfin, intervenir pour organiser certaines campagnes européennes et coordonner les séances internationales d'information.

CONCLUSIONS

I — L'augmentation croissante de la pollution atmosphérique constitue en milieu urbain un facteur important d'insalubrité et de morbidité.

II — Les études expérimentales et physiopathologiques ont montré que les polluants sous forme de gaz, de vapeurs, d'aérosols ou de brouillards sont particulièrement aptes à pénétrer dans la profondeur des voies respiratoires.

Si les risques de toxicité immédiate ne s'observent que dans des circonstances exceptionnelles et dans des conditions météorologiques particulières, les effets nocifs à long terme, résultant d'une exposition répétée à un air renfermant des concentrations, même minimales, d'agents polluants, sont tout aussi préoccupants.

Ils sont d'autant plus dangereux qu'ils ne comportent en général aucun signe d'alarme, qu'ils se manifestent le plus souvent après une longue période de latence et qu'ils peuvent être très graves et irréversibles.

III — Le rôle de l'air pollué dans l'étiologie de nombreuses affections pulmonaires aiguës, subaiguës ou chroniques ne fait pas de doute.

Par ailleurs, l'ensemble des données d'ordre clinique, expérimental et épidémiologique, sans permettre de conclure avec une certitude absolue que la pollution atmosphérique joue un rôle dans l'étiologie du cancer broncho-pulmonaire, apporte une très forte présomption en faveur de cette hypothèse.

IV — Il est nécessaire de supprimer, ou tout au moins de réduire, dans toute la mesure du possible, la concentration dans l'air des polluants, surtout s'ils sont susceptibles de provoquer des effets de toxicité à long terme, par des mesures techniques telles que :

1) La fixation de normes pour les combustibles utilisés dans les foyers domestiques et industriels, de façon à abaisser au minimum les taux de produits nocifs formés dans la combustion.

2) Le réglage et la surveillance des foyers domestiques et industriels, de façon à abaisser au minimum les taux d'imbrûlés rejetés dans l'atmosphère.

3) Le contrôle rigoureux du réglage des moteurs Diesel, techniquement possible et d'une efficacité reconnue.

4) La mise au point de dispositifs tendant à éliminer les agents de pollution rejetés dans les gaz d'échappement des véhicules automobiles.

5) L'épuration des fumées et effluents industriels, avant leur rejet dans l'atmosphère.

6) L'amélioration et la concentration, dans la mesure du possible, des foyers individuels.

7) Dans l'application des plans d'urbanisme, la création d'espaces verts et boisés séparant les quartiers d'habitation des foyers de pollution et la mise en œuvre de plans de décentralisation des installations industrielles génératrices de pollution.

V — Pour donner leur pleine efficacité aux différents moyens de prévention, il convient de les compléter par une action psychologique consistant en une véritable éducation sanitaire de tous les responsables de pollutions.

VI — Les recherches expérimentales et épidémiologiques, doivent être poursuivies et amplifiées, en particulier dans le domaine toxicologique, afin de préciser les dangers de la pollution atmosphérique pour la santé de l'homme.

VII — Les médecins et surtout les hygiénistes spécialisés doivent être associés aux travaux entrepris en vue de la lutte contre la pollution atmosphérique. Ils doivent être intégrés dans des équipes pluridisciplinaires chargées de proposer des mesures réglementaires et d'élaborer les plans d'urbanisme.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BESSON A. : Problèmes de la Pollution atmosphérique, *Rev. de Path. Gén. et Physiol. Clin.*, 730, 1961, pp 899 - 910.
- (2) BESSON A., BOYER J., CHAMPOLLION G. : Pollution atmosphérique et urbanisme (communication), *Bull. Acad. Nat. Méd.*, T. 146, 21-22-23, Séance du 26 juin 1962 pp 479-484.
- (3) BESSON A., FLORENTIN D. : Pollution de l'atmosphère (communication), *Bull. Acad. Nat. Méd.*, T. 144, 15-16, Séance du 3 mai 1960, p 292.
- (4) BLANCHER G., Les espaces verts urbains, *Rev. Poll. Atm.*, 20, 1963, pp 333-345.
- (5) BOUR H., Bronchites chroniques : données actuelles - Avant-propos, *Rev. du Praticien*, XIII, 32, 1963, p. 3807 - 11.
- (6) BOURDON P., : Détermination de divers polluants émis par un complexe industriel en zone rurale, *Rev. Poll. Atm.*, 27, 1965, pp 362 - 380.
- (7) BOYER J., : Lutte contre la pollution atmosphérique, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 6, 7, 1963, pp 860-864.
- (8) BOYER J., : Définition de la Pollution Atmosphérique sous l'angle de l'hygiéniste, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963 - p. 818.
- (9) CHAMPOLLION G., : Rôle et importance des conditions météorologiques dans les phénomènes de pollution, *Rev. Path. Gén.*, 731, 1961, pp 1005 - 1021.
- (10) CHARPIN J., : Asthme et pollution atmosphérique, *Rev. Tuberc. et Pneumol.* XXVII, 6, 7, 1963, pp 851-853.
- (11) CHARPIN J., : Pollution atmosphérique par les allergènes, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, p. 826.
- (12) CHASSERAND J., : Les espaces verts et l'Hygiène publique, *Rev. Poll. Atm.*, 16, 1962, pp 470-495.
- (13) CHAUMONT A.-J., : L'intoxication chronique par l'oxyde de carbone, *Feuillets Médicaux*, 4^{me} série, n° 34, 1958, Maloine Ed.
- (14) CLAEYS C., : Détermination de la pollution atmosphérique, *Revue Médicale Minière*, 43, 1962, pp 64-74.

- (15) COIN L., : Symposium sur les problèmes épidémiologiques posés par la pollution de l'air *Rev. Path. Gén.*, 730, 1961, p. 913.
- (16) COIN L., : Epidémiologie de la pollution atmosphérique, *Rev. Poll. Atm.*, 19, 1963, pp 192-196.
- (17) COLLET A., : Caractères généraux de la rétention pulmonaire des polluants particuliers, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, p. 833.
- (18) CONSEIL de l'EUROPE, *Conférence Européenne sur la pollution de l'air*, 24 juin - 1^{er} juillet 1964, Rapport.
- (19) Mlle COURTECUISSÉ, : Détermination de certains éléments métalliques dans une atmosphère de Paris. *Rev. Poll. Atm.*, 27, 1965, pp 326-333.
- (20) DEBAT J., : La vie urbaine menace-t-elle notre santé ? *Rev. Poll. Atm.*, 26, 1965, pp 157-165.
- (21) DEBRUN G., : Le laboratoire « Prévention de la Pollution Atmosphérique » du Service de la production thermique E.D.F. *Rev. Poll. Atm.*, 17, 1963, pp 12-23.
- (22) DE RETZ B., : Les problèmes de prévention de la pollution atmosphérique provoquée par les centrales thermiques E.D.F., *Rev. Poll. Atm.*, 27, 1965, pp 392-411.
- (23) DESSENS H., : Facteurs météorologiques influençant la pollution atmosphérique, «*L'Evolution Médicale* », VII, 1, 1963, p. 13.
- (24) DETRIE J.-P. : Les mesures réglementaires récentes concernant la pollution *Rev. Poll. Atm.* 27, 1965, pp 437-453.
- (25) FOURNIER P. : Les pollutions atmosphériques et leur rôle dans l'étiologie des broncho-pneumopathies chroniques dans la région du Nord de la France, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, pp 848-850.
- (26) FOURNIER P. : Cancer broncho-pulmonaire et pollution atmosphérique, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, pp 854-855.
- (27) FOURNIER M. : Lutte contre la pollution atmosphérique due aux foyers domestiques, *Rev. Poll. Atm.*, 20, 1963, pp 289-324.
- (28) FOURNIER M., JACQUINOT P. : Lutte contre la pollution atmosphérique due aux foyers domestiques, *Rev. Poll. Atm.*, 25, 1965.
- (29) GERNEZ-RIEUX C. : Pollution atmosphérique et affections broncho-pulmonaires. Introduction, *Rev. Tuberc et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, pp 815-817.
- (30) GERNEZ-RIEUX C. : Vue générale du problème des relations entre la pollution atmosphérique et les affections broncho-pulmonaires, *Rev. Tuberc et Pneumol.*, XXVII, n° 7, 8, 1963, p. 837.

- (31) GERNEZ-RIEUX Ch., VOISIN C. : Pollution atmosphérique et affections broncho-pulmonaires, *Gazette Médicale de France*, 70, 1963, p. 2983-2989.
- (32) GERVAIS P. : Les accidents aigus liés à la pollution atmosphérique, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, pp 839-844.
- (33) GERVOIS M., VOISIN C., SALMON A., FOURNIER P., LEDUC M. : Les pollutions atmosphériques et leur rôle dans l'étiologie des broncho-pneumopathies aiguës et chroniques. *Rev. Hyg. et Méd. Sec.*, XI, 3, 1963, pp 203-217.
- (34) GILLON J.-J. : Pollution atmosphérique, *Le Concours Médical*, 39, 1964, pp 5237-38.
- (35) GIRBAL E., DESANTI E., SOMMER M. : La pollution atmosphérique à Marseille, *Rev. Poll. Atm.*, 24, 1964, pp 465-472.
- (36) GROLLET L. : La pollution de l'air et ses méfaits. Introduction, *Rev. de Path. Gén. et de Physiol. Clin.*, 754, 1964, pp 7-12.
- (37) GUILLERMIC M.-A. : Influence du chauffage aux combustibles liquides sur la pollution atmosphérique, *Rev. Poll. Atm.*, 13, 1962, pp 20-52.
- (38) HALTER S. : Problèmes posés par la pollution atmosphérique, *Arch. Belg. Méd. Soc. Hyg. Méd. Trav. et Méd. Lég.*, 17, 5, 1959, pp 388-396.
- (39) HAUSMAN A. : Les méthodes modernes d'analyse rapide du C O dans l'atmosphère *Arch. Belg. Méd. Soc. Hyg. Méd. Trav. et Méd. Lég.*, 18, 3, 1960, pp 188-200.
- (40) Mme HEROS M. : Etude critique des méthodes de dosage du benzo-3-4-pyrène dans les poussières atmosphériques et mise au point d'un mode opératoire amélioré, *Rev. Poll. Atm.*, 19, 1963, pp 205-217.
- (41) JAMMET M.-P. : La pollution radioactive de l'atmosphère. in « *La Pollution de l'Air* » ed. by O.M.S., pp 391-445.
- (42) JARNIOU A. : Pollutions microbiennes, virales et parasitaires, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, pp 827-829.
- (43) JARNIOU A. : Le point de vue du clinicien sur les relations entre bronchite chronique, emphysème et pollution atmosphérique, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, pp. 856. 858.
- (44) KORNMAN M.-H. et POLAC M.-A. : La pollution atmosphérique dans le canton de Saint-Maur, *Rev. Poll. Atm.*, 26, 1965, pp 173-193.
- (45) KOURILSKY R., BRILLE D., HATTE J., CARTON J., HINGLAIS J.-C. : *Enquête sur l'étiologie et la prophylaxie de la bronchite chronique et de l'emphysème pulmonaire*, 284 p. Im-

- primerie de la Caisse Régionale de la Sécurité Sociale de Paris, ed. 1966.
- (46) Mlle LABONDE J. et COIN L. : Microbiologie des atmosphères libres et confinées de Paris, *Rev. Poll. Atm.*, 22, 1964, pp 160-165.
 - (47) LABORATOIRE D'HYGIENE de la VILLE de PARIS : Dosage quotidien de l'anhydride sulfureux et des fumées contenus dans l'air extérieur, *Rev. Poll. Atm.*, 22, 1964, pp 166-210.
 - (48) LABORATOIRE MUNICIPAL de la PREFECTURE de POLICE : LE LABORATOIRE MUNICIPAL et la lutte contre la pollution, *Rev. Poll. Atm.*, 25, 1965.
 - (49) LASSERE P. : Les Progrès dans la rétention des poussières et des gaz nocifs, *Rev. Poll. Atm.*, 27, 1965, pp 412-428.
 - (50) LEBBE J. : Résultats récents obtenus dans l'étude de la pollution atmosphérique par les gaz d'échappement des véhicules automobiles de l'atmosphère de Paris, *Rev. Poll. Atm.*, 27, 1965, pp 316-325.
 - (51) LENT H. : L'Ere de la Technique et la Pollution Atmosphérique, *Rev. Poll. Atm.*, No spécial, Sept. 1962, pp 47-76.
 - (52) MARCHAND M. : Nature et origine des polluants atmosphériques, *Revue de Tuberculose et de Pneumologie*, XXVII, 7, 8, 1963, pp 819-823.
 - (53) MARCHAND M. : Les affections pulmonaires dûes à la pollution atmosphérique 1965 - Tome IX, 2 bis, p. 255.
 - (54) MARTIN J.-C. : Pollution atmosphérique et pathologie pulmonaire, *Ann. Méd. Reims*, 1964, I, pp 203-208.
 - (55) MOREL H. : Rôle des espaces verts suburbains ; leur aménagement, *Rev. Hyg. et Méd. Sec.*, XIII, 5, 1965, pp 395-402.
 - (56) MOUREU H. : Les divers aspects de la pollution par les gaz d'échappement des moteurs à combustion interne, *Rev. Path. Gén.*, 730, 1961, p. 915.
 - (57) MOUREU H., CHOVIN P., TRUFFERT L. et LEBBE J. : Sur le choix de l'oxyde de carbone comme substance-test de la pollution par les gaz d'échappement des véhicules automobiles - Application à l'étude de la pollution atmosphérique de Paris en 1960, *Rev. Poll. Atm.*, 14, 1962, pp 187-209.
 - (58) ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE : *La Pollution de l'Air*, 445 p., Genève 1963.
 - (59) O.M.S. (rapport) : La Pollution Atmosphérique. A propos d'un rapport de l'O.M.S., *Le Concours Médical*, 29, 1964, pp 4611-12.
 - (60) PELLERIN, REMY, ERVET, MORONI : Premier bilan de sept années de recherche sur les niveaux de la contamination du milieu ambiant et de la chaîne alimentaire par les retombées radioactives sur le territoire français, *Bulletin de l'I.N.S. E.R.M.* T 22, 1967, No 2.

- (61) PELLETIER J. : Bilan de la pollution atmosphérique dans le département de la Seine (Résumé), *Rev. Path. Gén.*, 731, 1961, p. 1003.
- (62) PHAM Q.-T. et SADOUL P. : Pronostic de la bronchite chronique, *Rev. du Praticien* XIII, 32, 1963, pp 3867-72.
- (63) PIANET A. : Pollution atmosphérique dans le département du Nord, *Rev. Poll. Atm.*, 26, 1965, pp 135-156.
- (64) POLICARD A. : Les poussières dans la pollution atmosphérique des grandes villes, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, pp 823-825.
- (65) POLICARD A. : Prognos sur les poussières et l'auto-épuration pulmonaire, *Rev. Poll. Atm.*, 24, 1964, p. 459-464.
- (66) PORTES J.-C. : Le problème de la pollution de l'atmosphère. Solutions de ce problème, *Rev. Path. Gén.*, No 731, 1961, p. 1025.
- (67) QUERET Y. : Etat actuel de la lutte contre la pollution atmosphérique en France, 1965, Tome IX 2 bis, p. 304.
- (68) QUEVAUVILLER A. : Législation des établissements classés et la pollution de l'air d'origine industrielle, *Rev. Path. Gén.*, 731, 1961, p. 990.
- (69) RAYMOND V. : Influence des ambiances atmosphériques sur la morbidité dans la région parisienne, *La Presse Médicale*, 69, 8, 1961, p. 369.
- (70) RAYMOND V. : La Pollution atmosphérique, *La Presse Médicale*, 70, 21, 1962, pp 1055-56.
- (71) RAYMOND V. : Rôle des espaces verts dans la prévention des maladies infectieuses des voies respiratoires, *Rev. Hyg. et Méd. Soc.* XI, 3, 1962, pp 239-242.
- (72) RONDIA D. : Le dosage des hydrocarbures polycycliques dans l'air, *Arch. Belg. Méd. Soc. Hyg. Méd. Trav. et Méd. Lég.*, 21, 2, 1963, pp 73-98.
- (73) ROUSSEL A., Incidences de la pollution atmosphérique sur la santé publique, *L'Evolution Médicale*, 3, 1962, pp 225-228.
- (74) SADOUL P. : Définitions et limites de la bronchite chronique, *La Revue du Praticien*, XIII, 32, 1963, pp 3813-3822.
- (75) SEDAN J. : Réactions allergiques palpébro-conjonctivales à l'air vicié de la voie publique, *Rev. Poll. Atm.*, 25, 1965.
- (76) SERRUYS M., Nouveaux progrès dans l'épuration de l'échappement des moteurs *Rev. Poll. Atm.*, 19, 1963, pp 171-188.
- (77) THIEBAULT R., La lutte contre la pollution de l'atmosphère par les gaz d'échappement des moteurs à explosion, *Rev. Poll. Atm.* 22, 1964, pp 141-149.
- (78) TRUHAUT R., Un exemple de risque de nocivité pour la santé pouvant résulter de la contamination des aliments par les imbrûlés lourds des combustibles solides et liquides — Intérêt

- du problème sur le plan général, *Bull. Acad. Nat. Méd.*, 144, 15, 16, 1960, pp 301-305.
- (79) TRUHAUT R., Sur les dangers de la pollution de l'air des villes. Présentation de résolutions adoptées à l'échelle internationale, *La Presse Médicale* 68, 37, 1960, p. 1407.
- (80) TRUHAUT R., Pollution de l'air et cancer, *Rev. Path. Gén.*, 730, 1961, p. 933.
- (81) TRUHAUT R., Sur les risques pouvant résulter de la pollution de l'air des villes et sur les moyens de lutte à mettre en œuvre, *Rev. Poll. Atm.*, 13, 1962, pp 3-19 et 14, 1962, pp 148-182.
- (82) TRUHAUT R., Le problème des limites tolérables pour les substances toxiques dans l'industrie, *Rev. Poll. Atm.*, 24, 1964, pp 447-458.
- (83) VERCRUYSSSE A., NORDVIK N., et HEYNDRCKX A., Estimation de la pollution atmosphérique en certains hydrocarbures polycycliques dont le 3-4 benzopyrène par les gaz d'échappement des moteurs Diesel, *Arch. Belg. Méd. Soc. Hyg. Méd. Trav. et Méd. Lég.*, 19, 3, 1961, pp 157-177.
- (84) VILLE DE PARIS, Communication au Conseil de Paris — La pollution atmosphérique dans l'agglomération parisienne. 1967.
- (85) VIOLET et DUMARCHEY M., Mesures de la pollution atmosphérique effectuées dans l'agglomération lyonnaise en 1962, *Rev. Poll. Atm.*, 21, 1964, pp 49-57.
- (86) VOISIN C., Action physiopathologique des polluants gazeux sur les structures broncho-pulmonaires, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, pp 835-836.
- (87) VOISIN C., Place de la pollution atmosphérique dans la genèse des broncho-pneumopathies chroniques, *Rev. Tuberc. et Pneumol.*, XXVII, 7, 8, 1963, pp 845-846.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Définition du problème et rappel historique	15
Première partie :	
<i>SOURCES ET NATURE</i>	
<i>DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE</i>	
Chapitre 1) <i>Les diverses sources de pollution atmosphérique</i>	19
a) domestique	
b) industrielle	
c) automobile	
Chapitre 2) <i>Influence des facteurs météorologiques</i>	25
Chapitre 3) <i>Les principaux polluants</i>	29
1) Nature physico-chimique	
a) Particules solides et liquides aéroportés	
b) Vapeurs et gaz	
2) Nature microbienne (bactérienne et virale)	
3) Nature radioactive	
Deuxième partie :	
<i>LES EFFETS NOCIFS DE LA POLLUTION SUR LA SANTE</i>	
<i>DE L'HOMME</i>	
Chapitre 1) <i>Mécanisme d'action des polluants de l'air</i>	39
1) Effets irritants (gaz sulfureux, ozone)	
2) Effets non irritants	
3) Effets généraux (Béryllium, manganèse, CO, fluorures, allergènes, agents cancérigènes, insecticides)	
Chapitre 2) <i>Seuils de nocivité</i>	55
a) La nature des risques	
b) Concept de la limite tolérable appliqué aux polluants chimiques de l'air	
Chapitre 3) <i>Retentissement sur l'organisme</i>	
A — Manifestations bronchopulmonaires aiguës liées à la pollution atmosphérique	60

1) Affections respiratoires aiguës observées au cours des grandes catastrophes collectives	
2) Bronchopneumopathies aiguës des insuffisants respiratoires chroniques	
3) Les crises d'asthme	
B — Bronchopneumopathies chroniques et pollution atmosphérique	72
1) Bronchites chroniques et emphysème	
2) Cancer bronchopulmonaire primitif et pollution atmosphérique	
C — Autres affections engendrées par la pollution atmosphérique	78
1) Pollution par les germes infectieux	
2) Lésions et anomalies diverses	
Chapitre 4) <i>Action physio-pathologique des polluants sur le poumon</i>	80
Troisième partie :	
LA POLLUTION RADIOACTIVE DE L'ATMOSPHERE	84
1) Source des produits radioactifs contaminants	
2) Importances et extension des pollutions	
3) Evolution de la contamination radioactive de l'atmosphère jusqu'à l'atteinte de l'homme	
4) Effets de la pollution radioactive de l'atmosphère	
5) Contrôle et prévention	
Quatrième partie :	
MOYENS DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE	
1) Moyens de lutte proprement dits	94
a) Foyers domestiques	
b) Etablissements industriels	
c) Véhicules automobiles	
d) Autres mesures (les espaces verts, la décentralisation)	
2) Législation et réglementation française et étrangère	105
3) Organismes français et internationaux de lutte contre la pollution	116
4) Organismes internationaux	119
5) Information et éducation du public	122
Conclusions	129
Bibliographie	131
Table des matières	137

Vu, le Président de Thèse

M. G. BLANCHER

Vu, le Doyen de la Faculté

M. G. BROUET

Vu et permis d'imprimer :

Le Recteur d'Académie,

Adjoint au Recteur de l'Académie de Paris,

M. C. CHALIN

